

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

2015  
ТЮМЕНЬ



Арктика, Субарктика:  
мозаичность, контрастность,  
вариативность криосферы

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS  
Earth Cryosphere Institute of Siberian Branch RAS  
Tyumen State Oil and Gas University  
FundamentStroyArkos LLC SPA  
Gubernia Academia

---



Arctic, Subarctic: mosaic,  
contrast, variability of the Cryosphere  
International Conference  
Tyumen, Russia  
July 2–5, 2015

---

# Arctic, Subarctic: mosaic, contrast, variability of the Cryosphere

## International Conference

**Proceedings**

Edited by Academician V.P.Melnikov  
and prof. D.S.Drozдов

Tyumen  
EPOHA publishing house  
2015

Тюменский научный центр Сибирского отделения РАН  
Институт Криосферы Земли Сибирского отделения РАН  
Тюменский государственный нефтегазовый университет  
ООО НПО «Фундаментстройаркос»  
Губернская академия

---



Арктика, Субарктика: мозаичность,  
контрастность, вариативность криосферы  
Труды международной конференции  
Тюмень, Россия  
2–5 июля 2015 г.

---

**Арктика, Субарктика: мозаичность,  
контрастность, вариативность криосферы**  
Международная конференция

**Труды**

Под редакцией академика В.П.Мельникова  
и д.г.-м.н. Д.С.Дроздова

Тюмень  
Издательство «Эпоха»  
2015

ББК 26.3+26.2  
УДК 551.34; 502.3; 624.139  
А 826

**Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции / Под ред. В.П.Мельникова и Д.С.Дроздова. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. – 468 с.**

Очередная международная конференция по мерзлотоведению и смежным дисциплинам, регулярно проводимая в Пушино (Моск.обл.), Тюмени, Салехарде, Новосибирске посвящена изменчивости криолитозоны и контактирующих с ней сред. В Арктике и Субарктике криосфера контролирует существование и трансформацию всех форм живой и неживой материи, в значительной степени определяет экономическую и технологическую деятельность человека, социокультурные отношения, медико-биологическую обстановку. Климатические флуктуации влияют на животный и растительный мир, ведут к преобразованиям в криосфере. Потепление последних десятилетий вызвало деградацию приповерхностных горизонтов мёрзлых толщ на юге криолитозоны и повсеместную активизацию опасных криогенных процессов, которые разрушают природные ландшафты, представляют опасность для хозяйственных объектов, могут создавать тревожную эпидемиологическую обстановку. Инженерная деятельность в Арктике и Субарктике усугубляет природные риски, и обществу приходится нести существенные затраты по ликвидации накопленного экологического ущерба. Актуальным вопросам пространственно-временной изменчивости, мозаичному строению, сложной ритмике и нестационарной динамике геологической истории многолетней мерзлоты и ландшафтов; а также физическим и химическим процессам в мерзлых горных породах и других криогенных образованиях, строительству сооружений, эксплуатации месторождений, содержанию транспортных систем, ведению сельского хозяйства, обеспечению жизни и здоровья населения Арктики и Субарктики посвящены труды конференции, вошедшие в настоящий сборник.

*Редакционная коллегия:*

Д.г.-м.н. А.В.Брушков; д.г.-м.н. А.А.Васильев; д.г.-м.н. Я.Б.Горелик; д.г.н. М.Н.Григорьев; д.г.-м.н., главный редактор Д.С.Дроздов; д.г.-м.н. М.Н.Железняк; проф. С.С.Зилитинкевич (Финляндия); д.б.н. Л.Ф.Калёнова; д.г.-м.н. М.О.Лейбман; д.м.н. В.А.Мальчевский; академик, главный редактор В.П.Мельников; д.г.н. Н.Г.Москаленко; д.х.н. А.Н.Нестеров; д.т.н. В.В.Новосёлов; д.г.-м.н. В.В.Пендин; д.м.н. С.А.Петров; проф. В.Е.Романовский (США); д.г.-м.н. Е.А.Слагода; д.г.-м.н. С.М.Фотиев; проф. С.Харрис (Канада)

**Arctic, Subarctic: mosaic, contrast, variability of the Cryosphere: Proceedings of the International Conference/ V.P.Melnikov and D.S.Drozdoz (ed.) – Tyumen: EPOHA publishing house, 2015. – 468 p. (Russian, English)**

Current serial international conference on permafrost and related subjects which is regularly hold in, Pushchino (Moscow reg.), Tyumen, Salekhard, Novosibirsk is devoted to the variability of the cryolithozone and all that contacts with it. In Arctic and Subarctic Cryosphere controls substance and transformation of all forms of living and inanimate matter. Cryosphere substantially determines the economical and technological human activity, social and cultural relations, and biomedical situation. The climatic shifts have influence on both an animal and plant life and leads to transformations of Cryosphere. In the last decade a warming has caused the degradation of the permafrost subsoil in the south of Cryolithozone and the widespread activating of the hazardous cryogenic processes which may have destroyed a natural landscape, which might have posed hazard to human-created objects, and which might have generated the alarming epidemiological situation. The engineering aggravates the natural risks in Arctic and Subarctic. Thus society has to bear the significantly cost of the elimination of accumulated environmental damage. Proceedings which were involved in the presence collection of the Conference touched upon the actual problems such as a spatiotemporal variability, a mosaic construction, an intricate rhythmic and unsteady dynamics of the permafrost and landscapes history, and also the physical and chemical processes in permafrost earth's formations and others cryogenic formations, an engineering, a field exploitation, a maintenance of transport systems, an agriculture, an ensuring life and health of the Arctic and Subarctic peoples.

*Editors:*

Prof. A.V.Bruskov; prof. A.A.Vasiliev; prof. J.B.Gorelik; prof. M.N.Grigoriev ; prof., chief editor D.S.Drozdoz; prof. M.N.Zhelezniak; prof. S.S.Zilitinkevich (Finland); prof. L.F.Kalenova; prof. M.O.Leibman; prof. V.A.Malchevskiy; academician, chief editor V.P.Melnikov; prof. N.G.Moskalenko; prof. A.N.Nesterov; prof. V.V.Novoselov; prof. V.V.Pendin; prof. S.A.Petrov; prof. V.E.Romanovsky (USA); prof. E.A.Slagoda; prof. S.M.Foteev; prof. S.Harris (Canada)

ISBN 978-5-9906392-0-1

© Институт криосферы Земли СО РАН, 2015

© Изд-во Эпоха, 2015, оформление



## Организаторы конференции

Тюменский научный центр  
СО РАН



Тюменский государственный  
нефтегазовый университет



Институт криосферы Земли  
СО РАН



ООО НПО  
«Фундаментстройаркос»



Научный совет по криологии Земли  
РАН



ОАО «Фундаментпроект»



Правительство Ямало-Ненецкого  
автономного округа



Сибирское отделение РАН



Правительство Тюменской области,  
Губернская Академия



## Содержание

Организаторы конференции .....	iii
Geochemical Characteristics of Selected Soils in Yamal and Gydan Peninsula .....	1
<i>E.Abakimov, V.Tomashunas, I.Antcibo, E.-M.Pfeiffer</i>	
<b>Геохимические характеристики некоторых почв Ямала и Гыдана</b>	
<i>E.Абакумов, В.Томашунас, Ю.Анцибор, Е.-М.Пфайфер</i>	
Возраст мерзлоты как основной фактор микробиологических исследований криолитозоны .....	5
<i>А.А.Абрамов, Е.М.Ривкина</i>	
<b>Permafrost Age as the Main Issue in the Permafrost Microbiology</b>	
<i>A.A.Abramov, E.M.Rivkina</i>	
Палеопедогенез в экстремальных климатических условиях позднеледниковья и голоцена .....	8
<i>А.Л.Александровский</i>	
<b>Paleopedogenesis in the Late-Pleistocene and Holocene Extreme Climatic Conditions</b>	
<i>A.L.Alexandrovskiy</i>	
Бугры пучения в долине реки сенца, окинское плоскогорье, Восточный Саян .....	12
<i>С.В.Алексеев, С.Г.Аржанников, Л.П.Алексеева, Ю.К.Васильчук, Е.А.Козырева</i>	
<b>Frost Mounds in the Sentsa River Valley, the Oka Plateau, East Sayan Mts.</b>	
<i>S.V.Alexeev, S.G.Arzhannikov, L.P.Alexeeva, Yu.K.Vasilchuk, E.A. Kozyreva</i>	
Льдистость и минерализация порового раствора пород криогенной толщи газоносных структур северного Ямала .....	16
<i>Ю.Б.Баду, Е.Е.Подборный</i>	
<b>Ice content and Pore Water Mineralisation of Cryogenic Strata in Gas-Bearing Structures at the Northern Jamal</b>	
<i>Yu.B.Badu, E.E.Podborny</i>	
Залежь внутригрунтового пластового льда на западном побережье Байдарацкой губы (Карское море) .....	20
<i>Н.Г.Белова</i>	
<b>Intrasedimental Massive Ice Bed at Western Coast of the Baydaratskaya Bay, Kara Sea</b>	
<i>N.G.Belova</i>	
Изменение климата как фактор воздействия на криолитозону севера Западной Сибири .....	24
<i>В.А.Бешенцев</i>	
<b>Climate Change as a Factor of Influence on the Permafrost of the North of Western Siberia</b>	
<i>V.A.Beshentsev</i>	
Динамика растительного покрова крупнобугристого торфяного болота зоны массивно-островной мерзлоты на севере Западной Сибири .....	27
<i>Т.А.Бляхарчук, М.Г.Магур, О.Е.Пономарева, Н.Г.Москаленко, А.Г.Гравис, Н.М.Бердников</i>	
<b>Dynamics of Vegetation at Frozen Hillocky Peat Bog at the Zone of Massive Insular Permafrost in the North of West Siberia</b>	
<i>T.A.Blyakharchuk, M.G.Magur, O.E.Ponomareva, N.G.Moskalenko, A.G.Gravis, N.M.Berdnikov</i>	
Четвертичное оледенение в истории Западной Сибири .....	31
<i>Р.А.Бобков</i>	
<b>Quaternary Glaciation in the History of Western Siberia</b>	
<i>R.A.Bobkov</i>	
Пространственное варьирование свойств криогенных почв и их взаимосвязь с мощностью сезонно-талого слоя (CALM R1, Надым, Западная Сибирь) .....	35
<i>А.А.Бобрик, О.Ю.Гончарова, Г.В.Матышак</i>	
<b>Spatial Variability of Permafrost-Affected Soil Properties and Their Relationship with Active Layer Thickness (Russia, Nadym, CALM site R1)</b>	
<i>A.A.Bobrik, O.Yu.Goncharova, G.V.Matyshak</i>	



Возможное образование льда XI в пористых средах в земных условиях .....	38
<i>Г.С.Бордонский</i>	
<b>Possible Formation of Ice XI in Porous Medium under Earth's Conditions</b>	
<i>G.S.Bordonskiy</i>	
Техногенное оврагообразование на объектах добычи углеводородного сырья в условиях криолитозоны: методы мониторинга. ....	40
<i>А.В.Быкова, В.Б.Павлунин, С.А.Лобастова</i>	
<b>Technogenic Ravine Formation on Objects Produce Hydrocarbons in the Cryolithozone: Methods of Monitoring</b>	
<i>A.V.Bykova, V.B.Pavlunin, S.A.Lobastova</i>	
Температурный режим субаквальной мерзлоты в Карском море.....	44
<i>А.А.Васильев, Г.Е.Облогов, И.Д.Стрелецкая</i>	
<b>Thermal Regime of the Submarine Permafrost in Kara Sea</b>	
<i>A.A.Vasiliev, G.E.Oblogov, I.D.Streletsкая</i>	
Оценка инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород карьеров горнодобывающих предприятий в криолитозоне геофизическими методами .....	46
<i>С.А.Великин, К.И.Бажин, Ю.Л.Марченко</i>	
<b>Geophysical Investigations for Estimation Engineering-Geocryological Conditions of Adjacent Strata Of Open-Cast Mines In Permafrost Zone</b>	
<i>S.A.Velikin, K.I.Bazhin, Ju.L.Marchenko</i>	
Анализ развития озерно-термокарстовых равнин на основе подходов математической морфологии ландшафта.....	50
<i>А.С.Викторов, В.Н.Капралова, Т.В.Орлов, О.Н.Трапезникова, М.В.Архипова, П.В.Березин, А.В.Зверев, Е.Г.Панченко, С.А.Садков</i>	
<b>Analysis of Termokarst Lacustrine Plains Based on the Approach of the Mathematical Morphology of Landscape</b>	
<i>A.S.Victorov, V.N.Kapralova, T.V.Orlov, O.N.Trapeznikova, M.V.Archipova, P.V.Berezin, A.V.Zverev, E.G.Panchenko, S.A.Sadkov</i>	
Система понятий в криологии .....	54
<i>В.Б.Геннадиник, В.О.Доманский</i>	
<b>System Concepts in Cryology</b>	
<i>V.B.Gennadinik, V.O.Domanskii</i>	
Долговременные фазы многолетних изменений стока крупнейших рек Сибири.....	58
<i>А.Г.Георгиади, Е.А.Кашутина</i>	
<b>Long-Term Changes of Runoff for the Largest Siberian Rivers</b>	
<i>A.G.Georgiadi, E.A.Kashutina</i>	
Обзор энтомофауны окрестностей села Батово Ханты-Мансийского автономного округа. ....	62
<i>А.Г.Герасимов, А.А.Герасимова, А.М.Субботин</i>	
<b>Overview of the Insect Fauna surrounding Villages Batovo Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug .</b>	
<i>A.G.Gerasimov, A.A.Gerasimova, A.M.Subbotin</i>	
Исследование сухих выпадений в арктических широтах в 2013 г. ....	65
<i>Л.П.Голобокова, Т.В.Ходжер, Н.А.Онищук, Вас.В.Полькин, Вик.В.Полькин, С.М.Сакерин, В.Ф.Радионон</i>	
<b>Investigation of Dry Deposition in the Arctic in 2013</b>	
<i>L.P.Golobokova, T.V.Khodzher, N.A.Onischuk, Vas.V.Polkin, Vik.V.Polkin, S.M.Sakerin, V.F.Radionov</i>	
Усовершенствование типизации геосистем для целей геокриологического картирования .....	69
<i>Д.Н.Горобцов, В.В.Пендин, Д.Д.Шубина, Д.С.Дроздов, О.Е.Пономарева</i>	
<b>Geosystem Classification Improving for the Purposes of Geocryological Mapping</b>	
<i>D.N.Gorobtsov, V.V.Pendin, D.D.Shubina, D.S.Drozдов, O.E.Ponomareva</i>	



Температурный режим плоскобугристых торфяников в подзоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири.....	73
<i>А.Г.Гравис, О.Е.Пономарева</i>	
<b>Temperature Regime of Flat Peatlands in Sporadic Permafrost Subzone of Western Siberia</b>	
<i>A.G.Gravis, O.E.Ponomareva</i>	
Время установления стационарного режима фильтрации в мерзлой глине .....	77
<i>Б.В.Григорьев, В.С.Колунин, А.Т.Тюльков</i>	
<b>The Relaxation Time of Steady State Filtration in Frozen Clay</b>	
<i>B.V.Grigoryev, V.S.Kolunin, A.T.Tjulkov</i>	
Акустические волны в содержащей газовой гидрат пористой среде.....	80
<i>А.А.Губайдуллин, О.Ю.Болдырева, Д.Н.Дудко</i>	
<b>Acoustic Waves in Porous Medium Containing Gas Hydrate</b>	
<i>A.A.Gubaidullin, O.Yu.Boldyreva, D.N.Dudko</i>	
Геокриологические условия месторождений им. Р.Требса, им А.Титова (побережье Баренцева моря и Большеземельская тундра) .....	84
<i>А.А.Губарьков, Ю.А.Дворников, А.А.Ишков, А.В.Хомутов, А.С.Якимов, Е.В.Еланцев</i>	
<b>Geocryological Conditions of the R.Trebs and A.Titov Oil-Fields (Barents Sea Coast and Zemlya Tundra)</b>	
<i>A.A.Gubarkov, Yu.A.Dvornikov, A.A.Ishkov, A.V.Khomutov, A.S.Yakimov, E.V.Elantsev</i>	
Новый подход к кристаллографии газовых гидратов .....	88
<i>С.В.Гудковских, М.В.Киров</i>	
<b>A New Approach to Gas Hydrates Crystallography</b>	
<i>S.V.Gudkovskikh, M.V.Kirov</i>	
Поиски газифицируемых объектов по радиофизическим свойствам ледяного покрова .....	91
<i>А.А.Гурулев, Г.С.Бордонский, А.О.Орлов, С.В.Цыренжапов, И.И.Железняк</i>	
<b>Search of Liberation Objects from Radiophysical Properties of Ice Cover</b>	
<i>A.A.Gurulev, G.S.Bordonskiy, A.O.Orlov, S.V.Tsyrenzhapov, I.I.Zheleznyak</i>	
Изучение кинетических параметров роста бактерий рода <i>Bacillus</i> , выделенных из многолетнемерзлых пород (Западная Сибирь, ЯНАО).....	93
<i>О.В.Доманская, В.О.Доманский, А.Ю.Кулакова</i>	
<b>The Study of the Growth Kinetic Parameters of the Bacteria Bacillus spp, Isolated from Permafrost (West Siberia, Yamal)</b>	
<i>O.V.Domanskaia, V.O.Domanskii, A.Yu.Kulakova</i>	
Коррозионная агрессивность грунтов криолитозоны .....	97
<i>В.О.Доманский, И.В.Рузов, О.В.Доманская</i>	
<b>Corrosion of Metal Constructions in Conditions of Cryolithozone</b>	
<i>V.O.Domanskii, I.V.Ruzov, O.V.Domanskaia</i>	
Строение и устойчивость дисперсного льда, стабилизированного гидрофобными наночастицами ....	101
<i>А.О.Драчук, Н.С.Молокитина, Л.С.Поденко</i>	
<b>Structure and Stability of Dispersed Ice Stabilized With Hydrophobic Nanoparticles</b>	
<i>A.O.Drachuk, N.S.Molokitina, L.S.Podenko</i>	
Нефтегазовое освоение Арктических территорий и экологические вопросы недропользования.....	105
<i>Д.С.Дроздов, В.А.Дубровин</i>	
<b>Arctic Oil and Gas Exploration and Environmental Aspects of the Mining Industry Development in Arctic</b>	
<i>D.S.Drozдов, V.A.Dubrovин</i>	
Результаты бурения скважин на шельфе Карского моря в районе геокриологического стационара Марре-Сале и ближайшая перспектива его изучения .....	109
<i>В.А.Дубровин</i>	
<b>Engineering Drilling in Near-Yamal Bottom Shelf Sediments Nearby Marre-Sale Geocryological Key-Site and a Future Research Agenda</b>	
<i>V.A.Dubrovин</i>	



Земляное полотно высокоскоростных железнодорожных линий на вечномёрзлых грунтах .....	113
<i>П.И.Дыдышко</i>	
<b>Subgrade of High-Speed Railway on the Permafrost</b>	
<i>P.I.Dydyshko</i>	
Влияние психротолерантных мезофильных бактерий на морфометрические показатели <i>Allium cepa</i> L.....	117
<i>О.В.Еноктаева, В.А.Мальчевский, А.М.Субботин, Е.О.Симонова, Е.Н.Нялин</i>	
<b>Influence Psychrotolerant Mesophilic Bacteria on Morphometric Parameters <i>Allium cepa</i> L.</b>	
<i>O.V.Enoktaeva, V.A.Malchevskiy, A.M.Subbotin, E.O.Smirnova, E.N.Nyalin</i>	
Системы автоматизированного температурного мониторинга земляного полотна на вечной мерзлоте .....	119
<i>И.И.Ерёмин</i>	
<b>Automated Temperature Monitoring Subgrade in Permafrost</b>	
<i>I.I.Eremin</i>	
Изменение соотношения географических элементов и набора биоморф высших растений под действием дефляции (Центральный Ямал) .....	123
<i>К.А.Ермохина</i>	
<b>Changes in Proportion of Geographical Elements and Life-Form Spectrum of Higher Plants Due to Deflation (Central Yamal)</b>	
<i>K.A.Ermokhina</i>	
Тонкие проводящие слои в мерзлых толщах .....	127
<i>В.Н.Ефремов</i>	
<b>Thin Conductive Layers in Permafrost</b>	
<i>V.N.Efremov</i>	
Влияние инфильтрации летних атмосферных осадков на температурный режим грунтов.....	131
<i>А.Ф.Жирков, М.Н.Железняк</i>	
<b>Summer Precipitation Influence upon Ground Temperature</b>	
<i>A.F.Zhirkov M.N.Zheleznyak</i>	
Кинетика роста корки льда и пленки воды на поверхности диссоциирующих газогидратных частиц.....	135
<i>А.Г.Заводовский, М.Ш.Мадыгулов, А.М.Решетников</i>	
<b>The Growth Kinetics of the Crust of Ice and Water Film on the Surface of Dissociating Gas Hydrate Particles</b>	
<i>A.G.Zavodovsky, M.Sh.Madygulov, A.M.Reshetnikov</i>	
Why turbulence dominates the atmosphere and hydrosphere?.....	138
<i>S.S.Zilitinkevich</i>	
<b>Почему и для чего атмосфера и океан турбулентны?</b>	
<i>S.S.Zilitinkevich</i>	
Реконструкция динамики природных сообществ долины реки Глубокий Сабун (бассейн реки Вах) на рубеже позднего плейстоцена – голоцена по энтомологическим данным.....	142
<i>Е.В.Зиновьев</i>	
<b>Reconstruction of the Dynamics of Natural Communities of Glubokiy Sabun River (Vakh River Basin) on the Base of Sub-Fossil Insect Data</b>	
<i>E.V.Zinovyev</i>	
Исследование фазовых переходов гидратов природного газа в системах «асфальтосмолопарафиновые отложения + вода» .....	146
<i>И.К.Иванова, М.Е.Семенов, Ю.Э.Шилова</i>	
<b>Investigation of Natural Gas Hydrates Phase Transitions in the Systems «Asphaltene-Resin-Paraffin Deposits + Water»</b>	
<i>I.K.Ivanova, M.E.Semenov, Yu.E.Shilova</i>	



- Исследование состава гидратов природных газов месторождений Лено-Тунгусской НГП..... 150  
*Л.П.Калачева, А.Ф.Федорова*  
**Investigation of the Natural Gas Hydrates Composition of Lena-Tunguss Petroleum Province Deposits**  
*L.P.Kalacheva, A.F.Fedorova*
- Использование данных дистанционного зондирования и методов математической морфологии ландшафта для оценки риска поражения инженерных сооружений термокарстовыми процессами ... 152  
*В.Н.Капралова*  
**Methods of Remote Sensing and Mathematical Morphology of Landscape Implementation in Risk Estimation of Different Engineering Structures Damages due to Thermokarst Processes**  
*V.N.Kapralova*
- Методика прогноза температуры начала замерзания и фазового состава засоленных пород п-ова Ямал..... 156  
*Н.В.Кияшко, И.А.Комаров, В.В.Кондаков*  
**Forecasting Technique of Freezing Temperatures, Amount of Unfrozen Water for Saline Rocks of Yamal Peninsula**  
*N.V.Kiyashko, I.A.Komarov, V.V.Kondakov*
- Проникновение льда через пористые среды с жестким каркасом ..... 160  
*В.С.Колунин, З.А.Ишкова*  
**The Passage Ice Through Porous Media with the Rigid Skeleton**  
*V.S.Kolunin, Z.A.Ishkova*
- Влияние бактерий из многолетнемерзлых пород разного геологического возраста на периферическую кровь и неспецифическую иммунорезистентность ..... 163  
*С.С.Кольванова, Л.Ф.Каленова, А.С.Бажин*  
**The Impact of Bacteria from the Permafrost of Different Geological Age on Peripheral Blood and Nonspecific Immuno-resistance**  
*S.S.Kolyvanova, L.F.Kalenova, A.S.Bazhin*
- Методика прогноза температуры начала замерзания и фазового состава криопэггов п-ова Ямал..... 166  
*И.А.Комаров, Н.В.Кияшко*  
**Forecasting Technique of Freezing Temperatures and Amount of Unfrozen Water for Cryopegs of Yamal Peninsula**  
*I.A.Komarov, N.V.Kiyashko*
- О сезонных охлаждающих устройствах ..... 170  
*А.А.Коновалов*  
**About Seasonal Cooling Devices**  
*A.A.Konovalev*
- Изучение динамики пирогенных сукцессий в районе Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения по данным спутников Landsat ..... 173  
*С.Г.Корниенко*  
**Studying Dynamics of Pyrogenic Successions in the Area of The Urengoy Oil And Gas Condensate Field According to Satellite Imagery Landsat**  
*S.G.Kornienko*
- Новый теплоизоляционный материал для транспортного строительства в холодных регионах ..... 177  
*Е.А.Коротков, А.О.Константинов*  
**New Thermal Insulation Material for Transport Construction in Cold Regions**  
*E.A.Korotkov, A.O.Konstantinov*
- Региональные особенности динамики термокарстовых озер криолитозоны России ..... 179  
*В.И.Кравцова, Т.В.Родионова*  
**Regional Differences in Thermokarst Lakes Dynamics in Russia Cryolithozone**  
*V.I.Kravtsova, T.V.Rodionova*
- Геокриологические условия Новосибирских островов ..... 183  
*Г.П.Кузьмин, Д.М.Шестернев, И.С.Вахрин*  
**Geocryological Conditions on the New Siberian Islands**  
*G.P.Kuzmin, D.M.Shesternev, I.S.Vakhrin*



Оценка эффективности бактериальных штаммов на всхожесть и биометрические показатели озимой пшеницы сорта Тюменская-1. ....	187
<i>А.Ю.Кулакова, О.В.Доманская</i>	
<b>Evaluation of the Effectiveness of Bacterial Strains on the Germination and Biometric Parameters of Winter Wheat Varieties Tyumen-1.</b>	
<i>A.Yu.Kulakova, O.V.Domanskaia</i>	
Микростроение диатомовых илов гидратонасыщенных отложений Охотского моря .....	190
<i>А.Н.Курчатова, А.И.Обжиров, В.В.Рогов, Е.А.Слагода, Р.Б.Шакиров</i>	
<b>Microstructure of Diatomic of the Hydrate-Bearing Sediments in the Okhotsk Sea</b>	
<i>A.N.Kurchatova, A.I.Obzhirov, V.V.Rogov, E.A.Slagoda, R.B.Shakirov</i>	
Строение каменного глетчера Сукорского обвала (Горный Алтай) по данным электротомографии .....	195
<i>А.А.Лапковская, В.В.Оленченко, В.В.Потапов, А.Н.Шеин, Е.С.Горностаева, Д.И.Губин</i>	
<b>The Structure of the Rock Glaciers Sukorsky Collapse (Gorny Altai) According Electrical Resistivity Tomography</b>	
<i>A.A.Lapkovskaya, V.V.Olenchenko, V.V.Potapov, A.N.Shein, E.S.Gornostaeva, D.I.Gubin</i>	
Особенности морфологии и генезис реликтовых полигональных образований конца плейстоцена на юго-западе Западносибирской равнины .....	199
<i>С.И.Ларин, Н.С.Ларина, С.А.Лаухин, Н.Г.Шилова, В.А.Алексеева</i>	
<b>Characteristics of Morphology and Genesis of Late Pleistocene Formations of Polygonal Relics in The Southwest of the West Siberian Plain</b>	
<i>S.I.Larin, N.S.Larina, S.A.Laukhin, N.G.Shilova, V.A.Alekseeva</i>	
Рекультивация ландшафтов некоторых районов Российской Арктики, нарушенных в результате недоропользования .....	202
<i>С.А.Лаухин, Д.С.Дроздов</i>	
<b>Recultivation of Landscape in Some Arctic Regions of Russia, Which Were Disturbed As a Result of the Extraction of Raw Materials</b>	
<i>S.A.Laukhin, D.S.Drozdv</i>	
Геотехнический мониторинг и инженерная защита от опасных геологических процессов берегового участка перехода газопровода через Байдарацкую губу .....	206
<i>Н.В.Лашина, В.В.Лашин, А.В.Савельев</i>	
<b>Geotechnical Monitoring and Engineering Protection from Dangerous Processes of Onshore Gas Pipeline Crossing the Baydara Bay</b>	
<i>N.V.Lashina, V.V.Lashin, A.V.Savelyev</i>	
Оценка почвенного покрова северотаежной подзоны Западной Сибири (на примере газопровода Надым-Пунга) .....	210
<i>Е.Ф.Лешневская, Д.А.Левадная, А.С.Якимов</i>	
<b>Characteristics of Soil Cover in West-Siberian Northern Taiga (along Pipeline Nadym-Punga)</b>	
<i>E.F.Leshnevskaya, D.A.Levadnaya, A.S.Yakimov</i>	
Динамика эолового рельефа в северной тайге Западной Сибири (на примере Надымского стационара) .....	213
<i>С.А.Лоботросова, О.С.Сизов</i>	
<b>The Dynamics of Aeolian Relief in the Northern Taiga of Western Siberia (Nadymsky Scientific Field Station Case Study)</b>	
<i>S.A.Lobotrosova, O.S.Sizov</i>	
Мониторинг криогенных геосистем в Ненецком автономном округе, их современное состояние и тенденции изменения .....	217
<i>Г.В.Малкова, А.Г.Скворцов, А.М.Царев, М.Р.Садуртдинов, Я.В.Румянцева</i>	
<b>Monitoring of Cryogenic Geosystems in the European North, Their Current Condition and Dynamics</b>	
<i>G.V.Malkova, A.G.Skvortsov, A.M.Tsarev, M.R.Sadurtdinov, Ya.V.Rumyantseva</i>	



Влияние инфицированности штаммами микроорганизмов многолетних мёрзлых пород на исходы закрытой ЧМТ .....	221
<i>В.А.Мальчевский, А.М.Субботин, С.А.Петров, А.Г.Немков</i>	
<b>Influence of Infection by Strains of Microorganisms Perennial Frozen Rocks on the Outcomes of a Closed Head Injury</b>	
<i>V.A.Malchevskiy, A.M.Subbotin, S.A.Petrov, A.G.Nemkov</i>	
Факторы окружающей среды – основополагающее звено в геомедицинских исследованиях Арктической зоны РФ .....	225
<i>Н.Л.Мамаева, С.А.Петров</i>	
<b>Factors of an Environment – a Basic Part in Geomedical Researches of the Arctic Zone of the Russian Federation</b>	
<i>N.L.Mamaeva, S.A.Petrov</i>	
Организация геотехнического мониторинга газотранспортных систем на территории криолитозоны Западной Сибири .....	229
<i>В.П.Марахтанов</i>	
<b>Organization of Geotechnical Monitoring of Gas Transportation Systems in the Permafrost Zone of Western Siberia</b>	
<i>V.P.Marakhtanov</i>	
Трансформация экосистем бугристых торфяников в результате прокладки и эксплуатации «теплых» газопроводов в условиях островной криолитозоны.....	233
<i>Г.В.Матышак, О.Ю.Гончарова, М.О.Тархов</i>	
<b>Transformation of Peatland Ecosystems During the Laying and Operation of the "Warm" Gas Pipeline in Sporadic Permafrost</b>	
<i>G.V.Matyshak, O.Yu.Goncharova, M.O.Tarhov</i>	
Особенности мерзлотных инженерно-геологических изысканий в районах широкого распространения макроледяных тел повторно-жильного генезиса, на примере сельского поселения Сеяха.....	236
<i>А.Г.Матюхин</i>	
<b>Engineering-Geocryological Survey in Areas of Wide Spread Macro Ice Wedge Bodies as in the Case of Seyakha Settlement</b>	
<i>A.G.Matyukhin</i>	
Экотонные ландшафты криолитозоны Центральной Сибири в условиях изменения климата .....	240
<i>А.А.Медведков</i>	
<b>Ecotone Landscapes of the Cryolithozone of Central Siberia in a Changing Climate</b>	
<i>A.A.Medvedkov</i>	
Криогенные риски арктических территорий.....	243
<i>В.П.Мельников, Д.С.Дроздов</i>	
<b>Cryogenic Risks at Arctic Territories</b>	
<i>V.P.Melnikov, D.S.Drozhdov</i>	
Новые данные о геокриологических условиях в северной части Тунгусской синеклизы. ....	247
<i>И.Е.Мисайлов</i>	
<b>New data on the Permafrost Conditions in the Northern Part of the Tunguska Synclin.</b>	
<i>I.E.Misaylov</i>	
Модель теплового поля пород на Центральном Ямале .....	250
<i>Д.Р.Муллануров, Ю.А.Дворников, М.О.Лейбман, А.В.Хомутов</i>	
<b>Model of Thermal Field on the Central Yamal ...</b>	
<i>D.R.Mullanurov, Yu.A.Dvornikov, M.O.Leibman, A.V.Khomutov</i>	
Аналитические решения задачи образования газогидратов при нагнетании газа в пласт .....	254
<i>Н.Г.Мусакаев, М.К.Хасанов</i>	
<b>Analytical Solutions of the Problem of Formation of Gas Hydrates During Injection Gas into a Reservoir</b>	
<i>N.G.Musakaev, M.K.Khasanov</i>	

Изменение морфофизиологических показателей яровой пшеницы под влиянием бактерий, выделенных из многолетнемёрзлых пород .....	258
<i>М.В.Нарушко, А.М.Субботин, С.А.Петров, В.А.Мальчевский, Н.А.Боме</i>	
<b>Change of Morphophysiological Indicators of Spring Wheat under the Influence of Bacteria Isolated from Permafrost</b>	
<i>M.V.Narushko, A.M.Subbotin, S.A.Petrov, V.A.Malchevskiy, N.A.Bome</i>	
Изучение влияния нанопорошков на индукционные времена гидратообразования.....	261
<i>А.Н.Нестеров, А.М.Решетников, А.Ю.Манаков</i>	
<b>Study of the Effect of Nanopowders on the Induction Time of Hydrate Formation</b>	
<i>A.N.Nesterov, A.M.Reshetnikov, A.Yu.Manakov</i>	
Межгодовая изменчивость климатических характеристик, определяющих динамику мерзлых толщ на полуострове Ямал .....	265
<i>Г.Е.Облогов, Ю.В.Коростелев, П.Т.Орехов, Г.В.Малкова, А.А.Васильев</i>	
<b>Interannual Variability of Climate Characteristics Defined the Permafrost Dynamics at the Yamal Peninsula</b>	
<i>G.E.Oblogov, Yu.V.Korostelev, P.T.Orekhov, G.V.Malkova, A.A.Vasiliev</i>	
Влияние изменений климата на интенсивность экзарации дна ледяными торосистыми образованиями.....	269
<i>С.А.Огородов, В.В.Архипов, О.В.Кокин</i>	
<b>Climate Change Effect on the Intensity of Seabed Gouging by Hummocky Ice Floes</b>	
<i>S.A.Ogorodov, V.V.Arhipov, O.V.Kokin</i>	
Укрепление плотины Вилюйской ГЭС-3 путем ее замораживания .....	272
<i>С.Н.Окунев, Г.М.Долгих, Н.А.Скорбилин</i>	
<b>Strengthening hydroelectric dam Vilyuiskaya by its freezing</b>	
<i>S.N.Okunev, G.M.Dolgikh, N.A.Skorbin</i>	
Применение электротомографии при прогнозе развития опасных экзогенных процессов на объектах инфраструктуры Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения.....	276
<i>В.В.Оленченко, А.Б.Осокин</i>	
<b>The Application of Electrical Resistivity Tomography in the Evaluation of the Degree Influence of Hazardous Exogenous Processes on the Infrastructure of the Bovanenkovo Deposit</b>	
<i>V.V.Olenchenko, A.B.Osokin</i>	
Современные криогенные процессы в зоне полярных пустынь Северного острова Новой Земли.....	280
<i>П.Т.Орехов, Д.С.Дроздов</i>	
<b>Geocryological Processes in the Arctic Desert (Northern Part of Novaya Zemlia)</b>	
<i>P.T.Orekhov, D.S.Drozдов</i>	
Некоторые аспекты эмпирической проверки вероятностной модели развития антропогенно-иницированного термокарстового процесса с помощью дистанционного зондирования. ....	284
<i>Т.В.Орлов, А.С.Викторов, С.А.Садков, Е.Г.Панченко, А.В.Зверев</i>	
<b>Some Aspects of Empirical Verification of Stochastic Model of the Human Caused Thermokarst Using Remote Sensing Data</b>	
<i>T.V.Orlov, A.S.Victorov, S.A.Sadkov, E.G.Panchenko, A.V.Zverev</i>	
Создание обзорной геокриологической карты Большеземельской тундры на основе ландшафтного метода.....	287
<i>Г.Г.Осадчая, Н.В.Тумель, Т.Ю.Зенгина, Е.М.Лантева</i>	
<b>The Development of the Review Geocryologic Map of Bolshezemelskaya Tundra on the Bases of Landscape Method</b>	
<i>G.G.Osadchaya, N.V.Tumel, T.Yu.Zengina, E.M.Lapteva</i>	
Реперная геодезическая сеть геокриологического мониторинга в районах распространения островной мерзлоты.....	291
<i>Е.Н.Оспенников, В.З.Хилимонюк, С.Н.Булдович</i>	
<b>Geodetic Network of Benchmarks for Geocryological Monitoring in the Areas of Sporadic Permafrost</b>	
<i>E.N.Ospennikov, V.Z.Hilimonyuk, S.N.Buldovich</i>	

Новая технология и аппаратура для определения абсолютного возраста криогенных образований посредством термолюминесцентного метода .....	292
<i>А.Д.Писарев, В.С.Шейнкман</i>	
<b>New Technology and Equipment to Determine the Absolute Age of Cryogenic Formations by Dint of a Thermoluminescence Dating Method</b>	
<i>A.D.Pisarev, V.S.Sheinkman</i>	
Особенности распределения и деградации органического вещества прибрежно-шельфовой зоны залива Буор-Хая (море Лаптевых).....	296
<i>Т.В.Погодаева, Т.В.Ходжер, Н.А.Жученко, М.Н.Григорьев</i>	
<b>Features of Distribution and Degradation of Organic Matter in the Coastal-Shelf Area of Buor-Haya Gulf (Laptev Sea)</b>	
<i>T.V.Pogodaeva, T.V.Khodzher, N.A.Zhuchenko, M.N.Grigorev</i>	
Реакция криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири на изменение климата .....	300
<i>О.Е.Пономарева, А.Г.Гравис, Е.В.Устинова, Т.А.Бляхарчук, Н.Г.Москаленко, Н.М.Бердников</i>	
<b>Reaction Cryogenic Northern Taiga Landscapes of Western Siberia to Climate Change</b>	
<i>O.E.Ponomareva, A.G.Gravis, E.V.Ustinova, T.A.Blyakharchuk, N.G.Moskalenko, N.M.Berdnikov</i>	
Анализ временной структуры состояний ПТК на Уренгойском месторождении (на примере южной лесотундры) .....	304
<i>К.А.Попов, П.Т.Орехов</i>	
<b>Temporal Change of Landscape (Geosystems) Conditions at Urengoy Gas-Field (Southern Forest-Tundra)</b>	
<i>K.A.Popov, P.T.Orekhov</i>	
Палеокриогенные процессы в торфяных отложениях юго-востока Западной Сибири .....	305
<i>Ю.И.Прейс</i>	
<b>Paleocryogenic Processes in Peat Deposits of the Southeast of Western Siberia</b>	
<i>Yu.I.Preis</i>	
Использование биоресурсов Арктики в сельском хозяйстве Тюменского региона .....	309
<i>Е.П.Ренев, В.Н.Тимофеев, С.А.Петров, О.А.Симонов, А.М.Субботин</i>	
<b>The Use of Arctic's Biological Resources in the Agriculture of the Tyumen Region</b>	
<i>E.P.Renev, V.N.Timofeev, S.A.Petrov, O.A.Simonov, A.M.Subbotin</i>	
Влияние водонасыщения и фракционного состава кварцевого песка на разложение гидратов природного газа при различных давлениях и температуре 268К. ....	313
<i>А.М.Решетников, А.Н.Нестеров</i>	
<b>The Influence of Water Saturation and Fractional Composition of Quartz Sand on the Decomposition of Hydrates of Natural Gas at Different Pressures and Temperature 268K.</b>	
<i>A.M.Reshetnikov, A.N.Nesterov</i>	
Влияние внутренних устройств термостабилизатора на процессы теплопереноса в двухфазных системах .....	317
<i>И.П.Рило, К.А.Желудкова, Д.А.Клещин</i>	
<b>Influence of Thermal Stabilizer Internal Constructions on Heat Transfer Processes in Two-Phase Systems</b>	
<i>I.P.Rilo, K.A.Zheludkova, D.A.Kleschin</i>	
Микроволновое излучение сезонно-мерзлых почв на юге Западной Сибири.....	321
<i>А.Н.Романов, И.В.Хвостов</i>	
<b>Microwave Emission of Seasonally Frozen Soils in the South of Western Siberia</b>	
<i>A.N.Romanov, I.V.Khvostov</i>	
Changes in Permafrost in Alaska During the Last 30 Years .....	325
<i>В.Е.Романовский</i>	
<b>Изменения многолетней мерзлоты на Аляске за последние 30 лет</b>	
<i>V.E.Romanovskiy</i>	
Результаты геотермического мониторинга на стационаре Дионисия (Чукотка) .....	329
<i>В.Т.Рузанов</i>	
<b>Results of Geothermal Monitoring on Dionisiya Station (Chukotka)</b>	
<i>V.T.Ruzanov</i>	

Геофизические методы изучения инженерно-геокриологических условий на стационаре Марре-Сале (Ямал) в зимний период .....	333
<i>М.Р.Садуртдинов, А.М.Царев, А.Г.Скворцов, М.С.Судакова, Е.А.Слагода, В.А.Дубровин</i>	
<b>Geophysical Methods of Permafrost Studies in Winter (Marre-Sale Key-Site, Yamal)</b>	
<i>M.R.Sadurtdinov, A.M.Tsarev, A.G.Skvortsov, M.S.Sudakova, E.A.Slagoda, V.A.Dubrovin</i>	
Опыт оценки техногенного воздействия на геологическую среду криолитозоны путём расчёта коэффициента густоты малых термокарстовых озёр (на примере Бованенковского месторождения, Ямал).....	337
<i>Г.С.Санников</i>	
<b>Evaluation of Anthropogenic Impact upon the Permafrost Via Calculating the Coefficient of the Density of Small Thermokarst Lakes (Bovanenkovo Gas Field, Yamal Peninsula)</b>	
<i>G.S.Sannikov</i>	
Палеопедологическая криотрасология: почвенные индикаторы позднеплейстоценового криолитогеоза в Европе и Западной Сибири .....	341
<i>С.Н.Седов, В.С.Шейнкман</i>	
<b>Paleopedological Cryo Trasology: Soil Indicators of the Late Pleistocene Cryolithogenesis in Europe and Western Siberia.</b>	
<i>S.N.Sedov, V.S.Sheinkman</i>	
Об эффективности работы вертикальных термостабилизаторов для строительства на мерзлых грунтах .....	345
<i>А.А.Селезнев, Я.Б.Горелик</i>	
<b>About Working Affectivity of the Vertical Thermostabilizer for Building on Permafrost</b>	
<i>A.A.Seleznev, J.B.Gorelik</i>	
Криолитозона углеводородных месторождений Лено-Вилуйской нефтегазоносной области.....	349
<i>В.П.Семенов, М.Н.Железняк</i>	
<b>Thickness of the Permafrost at the Oil-Gas-Fields of the Lena-Vilyui Petroleum Province</b>	
<i>V.P.Semenov, M.N.Zheleznyak</i>	
Некоторые особенности кристаллизации льда в микробиологических системах.....	353
<i>О.А.Симонов, Е.О.Симонова, А.М.Субботин</i>	
<b>Some Features of Ice Nucleation in Microbiological Systems</b>	
<i>O.A.Simonov, E.O.Simonova, A.M.Subbotin</i>	
Возраст отложений и строение верхней залежи пластового льда м. Марре-Сале. ....	356
<i>Е.А.Слагода, О.Л.Опокина</i>	
<b>Age of the Sediments and Structure of the Upper Massive Ice Body, Cape Marre-Sale</b>	
<i>E.A.Slagoda, O.L.Opokina</i>	
Новые инсоляционные периоды и последние похолодания в плиоцене.....	360
<i>И.И.Смульский</i>	
<b>New Periods of Insolation and Last Ice Ages in the Pliocene</b>	
<i>J.J.Smulsky</i>	
О нарушении продольной устойчивости скважин на многолетнемерзлых грунтах.....	364
<i>П.В.Солдатов, Я.Б.Горелик</i>	
<b>About Working Affectivity of the Vertical Thermostabilizer for Building on Permafrost</b>	
<i>P.V.Soldatov, J.B.Gorelik</i>	
Метан в подземных льдах Западного Ямала.....	368
<i>И.Д.Стрелецкая, А.А.Васильев, Г.Е.Облогов</i>	
<b>Methane in Underground Ice at Western Yamal</b>	
<i>I.D.Streletskaya, A.A.Vasiliev, G.E.Oblogov</i>	



Отбор штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород, по влиянию на адаптивные показатели растений.....	372
<i>А.М.Субботин, М.В.Нарушко, Е.О.Симонова</i>	
<b>The Selection of Strains of Bacteria Isolated from Permafrost, on Influence on Adaptive Indicators of Plants.</b>	
<i>А.М.Subbotin, M.V.Narushko, E.O.Simonova</i>	
Температура мерзлых пород в среднем течении р. Бол. Куонамки.....	375
<i>И.И.Сыромятников, П.С.Заболотник</i>	
<b>The Temperature of Frozen Rocks in the Middle Reaches of the River Bol. Kuonamka</b>	
<i>I.I.Syromyatnikov, P.S.Zabolotnik</i>	
Отклик геосистем криолитозоны на антропогенез.....	379
<i>Н.В.Тумель, Л.И.Зотова</i>	
<b>Cryolithozone Geosystems Response on Anthropogenic Impacts</b>	
<i>N.V.Tumel, L.I.Zotova</i>	
Мониторинг техногенных изменений ландшафтов с помощью повторного крупномасштабное картирования (северная тайга, Западная Сибирь).....	383
<i>Е.В.Устинова</i>	
<b>Monitoring of Technogenic Landscapes Using Large-Scale Mapping (Northern Taiga, West Siberia)</b>	
<i>E.V.Ustinova</i>	
Перспективы развития современных геофизических исследований ЯНАО: многоцелевая инженерно-геофизическая лаборатория.....	387
<i>А.Н.Фага, А.Н.Зайцев, А.А.Гидеон</i>	
<b>Development of modern geophysical research in Yamalo-Nenets Autonomous District: multipurpose engineering geophysical laboratory</b>	
<i>A.N.Faga, A.N.Zaytsev, A.A.Guideon</i>	
Социокультурные и психоиммунные аспекты адаптационной мобильности у детей лесных ненцев.....	391
<i>Р.Ю.Федоров, Т.А.Фишер, С.А.Петров</i>	
<b>Sociocultural and Psychoimmune Aspects of Adaptation Mobility of Forest Nenets Children</b>	
<i>R.Yu.Fedorov, T.A.Fisher, S.A.Petrov</i>	
Вариативность в системе жизнеобеспечения коренного населения Арктики.....	395
<i>Т.А.Фишер, С.А.Петров, О.Н.Пяк</i>	
<b>Variability in the Life Support System of the Indigenous Population in Arctic</b>	
<i>T.A.Fisher, S.A.Petrov, O.N.Pyak</i>	
Инновационный проект по озеленению и благоустройству населённых пунктов ЯНАО.....	399
<i>М.С.Фуфаева, В.С.Овсянникова, А.А.Гидеон</i>	
<b>Innovative project for the greening and beautification of the settlements in Yamalo-Nenets Autonomous District</b>	
<i>M.S.Fufaeva, V.S.Ovsiannikova, A.A.Guideon</i>	
Дороги на вечной мерзлоте – «вечные проблемы».....	402
<i>В.Г.Кондратьев</i>	
<b>Roads on permafrost – "persistent problems"</b>	
<i>V.G.Kondratyev</i>	
Ландшафты и традиционное природопользование.....	407
<i>Н.Г.Хайруллина, Н.А.Балюк</i>	
<b>Landscapes and Traditional Nature</b>	
<i>N.G.Khairullina, N.A.Baluk</i>	
Some Common Embankment Problems for Linear Transportation Routes and Currently Used Solutions....	409
<i>S.A.Harris</i>	
<b>Некоторые общие проблемы отсыпок для линейных транспортных сооружений и типовые решения</b>	
<i>S.A.Harris</i>	



Криолитозона и арктический шельф в условиях меняющегося климата на примере отдельных районов Российского сектора Арктики .....	412
<i>Т.В.Ходжер, Е.А.Ваганов</i>	
<b>Cryolithozone and Arctic Shelf under Conditions of Climate Change as Exemplified by Certain Areas of the Russian Arctic</b>	
<i>T.V.Khodzher, E.A.Vaganov</i>	
Изучение динамики техногенных нарушений и их влияния на ландшафты Центрального Ямала полевыми и дистанционными методами .....	416
<i>А.В.Хомутов, Ю.А.Дворников, М.О.Лейбман, О.В.Хитун</i>	
<b>Study of Techogenic Disturbance Dynamics and Impact on Landscapes of Central Yamal by Field and Remote-Sensing Methods</b>	
<i>A.V.Khomutov, Yu.A.Dvornikov, M.O.Leibman, O.V.Khitun</i>	
Цифровая карта природных и техногенных геосистем Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения	
<i>С.Н.Чекрыгина, Д.С.Дроздов, С.А.Лаухин</i>	
<b>Digital Map of Natural and Technogenic Geosystems of Urengoy Oil-Gas Field</b>	
<i>S.N.Chekrygina, D.S.Drozдов, S.A.Laukhin</i>	
Пространственная структура водного аэрозоля в атмосфере.....	424
<i>А.В.Шавлов, И.В.Соколов, В.А.Джуманджи</i>	
<b>Spatial Structure of Water Aerosol in Atmosphere</b>	
<i>A.V.Shavlov, I.V.Sokolov, V.A.Dzhumandzhi</i>	
Криоразнообразие и криогляциальные геосистемы – опыт изучения и анализ состояния в плане оценки и проявления древнего оледенения на севере Западной Сибири.....	428
<i>В.С.Шейнкман</i>	
<b>Cryodiversity and Cryoglacial Geosystems – Experience of Study and Analysis of State in the Way of Assessment and Manifestation of the Ancient Glaciation in the North of Western Siberia</b>	
<i>V.S.Sheinkman</i>	
Строительство на намывных грунтах в криолитозоне Якутии .....	432
<i>Д.М.Шестернев, Р.В.Чжан, Г.П.Кузьмин</i>	
<b>Construction on Hydraulic Fills in the Permafrost Region of Yakutia</b>	
<i>D.M.Shesternev, R.V.Zhang, G.P.Kuzmin</i>	
Подземные льды как информация о развитии Российской Арктики в плейстоцене-голоцене .....	436
<i>Н.А.Шполянская</i>	
<b>Underground Ices as the Information on Development of the Russian Arctic Regions in Pleistocene-Holocene</b>	
<i>N.A.Shpolyanskaya</i>	
A High-Resolution NDVI Trends Around Urban Areas of Northern West Siberia .....	440
<i>I.Esau, V.Miles</i>	
<b>NDVI-тренды высокого пространственного разрешения вокруг урбанизированных территорий севера Западной Сибири</b>	
<i>I.Esau, V.Miles</i>	
Первые результаты исследования отложений западного берега о. Белый .....	444
<i>А.А.Юртаев, Ю.Д.Аминова, А.Л.Александровский, Н.Е.Рябогина</i>	
<b>First Study of Sediments at Western Coast of Belyy Island</b>	
<i>A.A.Yurtaev, Yu.D.Aminova, A.L.Alexandrovskiy, N.E.Ryabogina</i>	
Именной указатель .....	448





*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS, Tyumen, Russia  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

## Geochemical Characteristics of Selected Soils in Yamal and Gydan Peninsula

E.Abakumov , V.Tomashunas  
Saint-Petersbrug State University

I.Ancibo, E.-M.Pfeiffer  
Universität Hamburg

### Abstract

Soils of Yamal and Gydan Peninsula have been investigated with special focus on their geochemical properties. Selected Cryosols, Gleysols, and Peat soils were analyzed in order to gain more detailed information about trace metal background levels and vertical distribution of these compounds in a soil profile. The total organic carbon and nitrogen contents as well as soil pH were analyzed. Bulk forms of trace metals were determined using an X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRS). Preliminary results showed cryoturbation as an important process that governs the element distribution in natural tundra landscapes of northwestern Siberia. Profile distribution of trace metals strongly associates with the presence of organic matter. The obtained data on trace metal concentrations can be used as a reference point to carry out further ecological monitoring in a regional scale.

**Key words:** biogenic elements; permafrost-affected soils; trace metals; northwestern Siberia Yamal; Gydan.

### Геохимические характеристики некоторых почв Ямала и Гыдана

Е.Абакумов, В.Томашунас,  
Санкт-Петербургский Государственный Университет, СПб

Ю.Анцибор, Е.-М.Пфайфер  
Университет Гамбург, Германия

### Реферат

Почвы полуостровов Ямал и Гыдан были исследованы в аспекте их основных геохимических характеристик. Характерные криоземы, глееземы и торфяные почвы были изучены с целью получения детальной информации о фоновом содержании тяжелых металлов и о вертикальном распределении этих элементов в почвенном профиле. Общее содержание органического углерода и азота и величина pH мелкозема почв были изучены. Валовые формы тяжелых металлов определялись методом рентгеновской флуоресценции. Предварительные результаты показали, что криотурбационный процесс оказывает существенное влияние на распределение элементов в ландшафтах северо-западной Сибири. Профильное распределение тяжелых металлов сильно связано с распределением органического вещества. Полученные данные по фоновому содержанию тяжелых металлов могут быть использованы в качестве сравнительных при осуществлении дальнейшего экологического мониторинга на региональном уровне.

**Ключевые слова:** биогенные элементы; мерзлотные почвы; тяжелые металлы; север Западной Сибири Ямал; Гыдан.

### Introduction

Trace metals (TM) are one of major groups of pollutants present in the emissions caused by human activity. In permafrost-affected soils, organic matter is an important soil component. It is responsible for the immobilization of TM by organo-mineral associations which prevent further leaching of those elements. Yamal is considered as an important region of the Russian Arctic in terms of oil and gas exploration. Therefore, environmental state assessment of cryogenic soils and study of their diversity and ecological functions are important aspects of ecological management in northwestern Siberia.

The main objective of this study was to investigate soils of natural landscapes of Yamal and Gydan peninsula in order to collect a comprehensive data on trace metal background levels and their distribution in permafrost-affected soils. This paper describes field observations and preliminary results of

geochemical soil characteristics, in particular, total carbon and nitrogen contents. The data is based on field samples collected during the campaign arranged by the organizers of the Tenth International Conference on Permafrost (TICOP) in 2012 and the Expedition “Yamal-Artica-2013” supported by the government of Yamal region. Within the campaign of 2013 the site achievement were assisted by the scientific vessel “Professor Molchanov”.

### Study area and methods

The key sites of the current research were performed by tundra ecosystems. During field campaigns of 2012 and 2013 key sites of the study area were chosen (Fig.1). All sites of Yamal and Gydan peninsula (sites 2, 3, 4, 5, and 6) were located in the zone of continuous permafrost. In Gydan peninsula, representative sites were located on the Cape of Yavay, Enisey Gulf, and Gyda Yuribey delta (Fig.1, points 4,

5, and 6, respectively). Study sites in Yamal peninsula were chosen in its middle and southern part, nearby Ust'-Yuribei and Noviy Port settlements (Fig.1, sites 2 and 3, respectively). The southernmost study site (Fig. 1, site 1) was located in pre-mountain area of Polar Urals nearby Yenga-Yu River, approximately 45 km north-west to Labytnangy settlement.

According to Vasil'yevskaya [1980] and Gorjachkin [2010], middle and southern Yamal region is characterized by relatively warm and humid conditions in comparison to Eastern Siberia. The analysis of the archive meteorological data [Russian's Weather Center 2015] showed that the temperature and precipitation amplitudes increase from areas in the north southward. Thus, the mean annual air temperature during the period 1998-2012 was  $-11.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  at Gyda weather station ( $70^{\circ} 53' \text{ N}$ ,  $78^{\circ} 71' \text{ E}$ ) and  $-6.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  at Salekhard weather station ( $66^{\circ} 35' \text{ N}$ ,  $66^{\circ} 38' \text{ E}$ ). The mean precipitation measured during the period of 2000-2004 was 370 mm at Gyda station, whereas at Salekhard weather station was 437 mm.

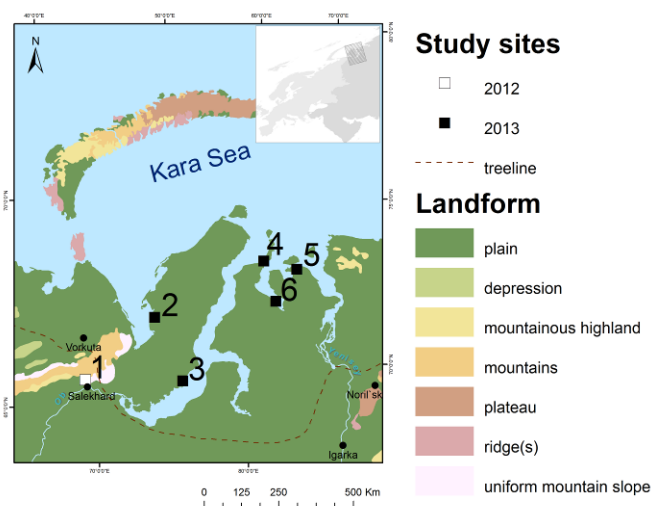


Fig.1. An overview map of the study area in the north of Western Siberia. Key sites of Yamal region are represented by: 1 – Yenga-Yu River valley (site “Salekh (2012)”), 2 – Ust'-Yuribei settlement (site “Ust'Yurib (2013)”), and 3 – Noviy Port settlement (site “NPort (2013)”). Key sites of Gydan Peninsula are represented by: 4 – Cape of Yavay (site “Yav (2013)”), 5 – Yenisey Gulf (site “En (2013)”), and 6 – Gyda Yuribey Gulf (site “Gyd Yurib (2013)”). Based on Stolbovoi et al [2002].

During two field campaigns, macro- and micro-relief forms, vegetation cover with dominant species, and visible anthropogenic changes in all study sites were described. Soil profiles of each study site were sampled continuously with regard to the generic soil horizons. The soil order and soil type were determined for each soil profile using the Russian soil classification [Russian Academy of Agricultural Sciences 2008, Shishov et al. 2004]. Collected soil samples from campaigns of 2012 and 2013 were transported for sample preparation to Hamburg and St. Petersburg, respectively.

Homogenized soil samples were analyzed for soil acidity (pH) in  $\text{H}_2\text{O}$  extract (ratio 1:2.5 and 1:25 for soils with low and high organic carbon content, respectively) using the

standard method [DIN ISO 10390] and grain-size composition [DIN ISO 11277, Katchinskiy 1980, Rastvorova 1983]. The total carbon and nitrogen contents were measured in homogenized ground material in the laboratory of the Institute of Soil Science (Universität Hamburg) according to a standard method [DIN ISO 10694] using C/N analyser (Vario MAX Cube, Elementar Analysis System, Hanau, Germany). Total concentrations of As, Co, Cr, Cu, Pb, Sr, V, and Zn were analyzed by means of X-Ray fluorescence spectrometer “Spectroscan-MAX” according to Russian Federation standards [GOST 17.4.3.03-85, PND F 16.1.42-04].

## Results and Discussion

According to Russian Soil Classification [Russian Academy of Agricultural Sciences 2008, Shishov et al. 2004], we referred the studied soils to the following soil types: Cryosol, Gleyic Cryosol, and Peat-Gleyic Cryosol. The evidence of cryoturbation, overmoisting and gleyification was observed in studied sites. In many soils rich in organic matter, two gleyic horizons were detected: the uppermost layer (its formation caused by seasonal waterlogging) and the second layer on the contact with permafrost. Many peat soils were located in uplands and in accumulative valleys. Soils with weak development of podzolisation were observed in the coastal parts of Yamal region and Gydan peninsula. This soil development results in the presence of sandy textured material in the upper solum.

Field observations showed that the thickness of the active layer in those soils varied depending on a latitude. The thaw layer thickness of the northernmost soils of Gydan peninsula reached a depth of 30-45 cm. These soils having a relatively shallow profile were characterized by a strongly pronounced gleyification and accumulation of a peat material (Fig. 2B). In contrast to the northernmost sites of Gydan, soils of Yamal peninsula were characterized by deeper thaw layer thicknesses. The maximum thaw layer thickness was observed for the study site “Ust'Yurib (2013)” and reached a depth of 150 cm (Fig.2A). We suggest that more intense cryoturbation occurs in soils which thaw deeper, particularly, in the upper and middle part of the soil profile. Peat accumulation and gleyification processes were observed in a less extent in this study site in comparison with northern parts of Gydan (sites “En (2013)” and “Gyd Yurib (2013)”).

Texture classes derived from the laboratory analyses ranged from sands in soils of coastal landscapes to silty clay. Silt and clay fractions were dominant (up to 85 %) in the majority of soils. Investigated soils were characterized by acidic (mainly peat soils), slightly acid (Gleysols and Gleyic Cryosols), and close to neutral (Cryosols in the middle part of profile) environmental reaction. Mean soil pH of soils in Yamal region ranged from 6.2 to 7.5 and pH values of soils in Gydan peninsula varied from 5.3 to 7.4. There was a general pH increase with soil depth as well as a decrease of soil organic carbon and accumulation of basic cations in the zone of contact with permafrost. The obtained pH data was comparable with results published for cryogenic soils of Arctic foothills in Alaska [Ping et al. 2005].

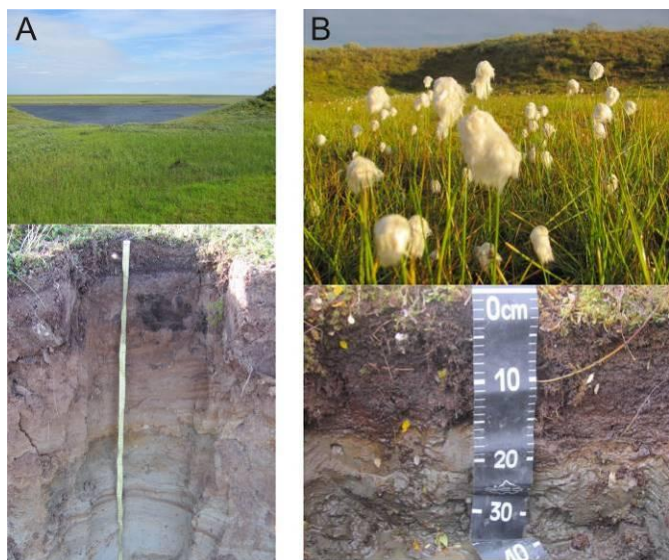


Fig.2. Selected soil profiles of the study area: A – Podzolized Cryosol with the maximum soil thaw depth of 150 cm (Ust’Yuribei settlement, study site “Ust’Yurib (2013)”, Yamal peninsula); B – Peat Gleyic Soil with the maximum soil thaw depth of 40 cm (Gyda Yuribey Gulf, study site “Gyd Yurib (2013)”, Gydan peninsula). Soil names are given according to the Russian Soil Classification [Shishov et al. 2004]. Photos: V. Tomashunas.

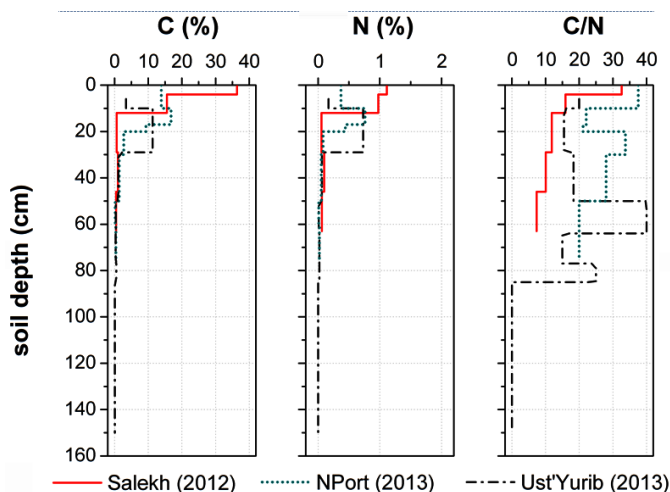


Fig.3. Profile distribution of the total organic carbon and nitrogen contents and C/N ratio in soils of Yamal key sites.

In the studied soil profiles, the maximum soil carbon content was observed in the surface soil horizons, gradually decreasing with soil depth. Values of the total soil carbon content in soils of this study ranged from 3.9 % to 36.4 % in surface horizons of Yamal (Fig.3) and from 0.58 % to 24.5 % in surface horizons of Gydan peninsula (Fig.4). A latitudinal increase of carbon content was observed for soils in both peninsulas. The same trend was observed in soils of other Arctic regions [e.g. Antcibor 2014]. The profile distribution of nitrogen in studied soil profiles was similar to the distribution of carbon. Contents of nitrogen ranged from 0.17 % to 11.1 % in surface soils of Yamal region and from 0.06 % to 1.86 % in surface soils of Gydan peninsula. The studied soils were characterized by inhomogeneity of C/N ratio

through soil profiles likely caused by cryogenic and biogenic process [Tarnocai et al. 2009].

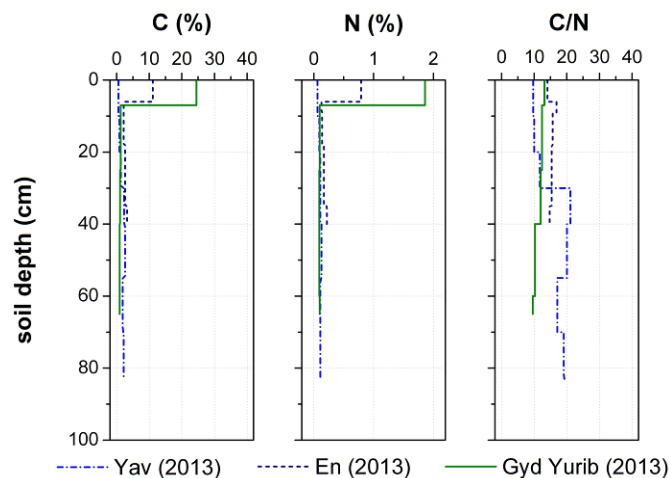


Fig.4. Profile distribution of the total organic carbon and nitrogen contents and C/N ratio in soils of Gydan Peninsula key sites.

Results of the trace metal analysis were published by Tomashunas and Abakumov [2014] only for soils of Yamal peninsula. The distribution of the trace metals in soil profiles was inhomogeneous. The first peak of the most element concentrations was found in the uppermost soil layer (horizons O, H, T or AY). We assume that these peak concentrations were caused by presence of humic substances [Höfle et al. 2013]. The second maximum was observed in the suprapermafrost layer - Cryic horizon (CR). Some soils also showed the third accumulation peak which was located on the contact of Gleyic horizon and permafrost. The results of XRS showed that contents of Pb and Zn in studied soils did not exceed Russian national the maximum permissible values [SanPiN 42-128-4433-87] in case of Pb, Zn, Cu, V, Mn. No significant excess of the maximum permissible values of As and Ni was found in soils of the sites located nearby ports and settlements. Mean concentrations of Co, Cu, Ni, Pb, V, and Zn in soils of Yamal peninsula were two or more times less when compared with results of Korobova et al. [2003] obtained for soils of tundra landscapes in the Yenisey delta and gulf area.

### Conclusions

Soils of northern and middle parts of Yamal region and Gydan peninsula were investigated in order to deepen the understanding of their geochemical characteristics. It was found that cryoturbation is a key soil geochemical process factor that identifies element redistribution in studied soils. Other soil forming factors such as climate, parent material, and vegetation play a considerable role in element redistribution in natural tundra landscapes. Authors of this paper lay special emphasis on the importance of the profile soil sampling method use. In contrast to the profile soil sampling method, the method of surface sampling, which is known as a standard for soil surveys in Polar Regions, can

lead to underestimation of pollutant behavior in tundra ecosystems.

### Acknowledgement

I. Antcibor and E.-M. Pfeiffer are supported through the Cluster of Excellence "CliSAP" (EXC177), Universität Hamburg, funded by the German Research Foundation (DFG). E. Abakumov and V. Tomashunas were supported by the joint Russian-German project CARBOPERM, Russian president grant for Young Doctors of Science № МД-3615.2015.4, and the government of Yamal region. We thank the organizing committee of the Tenth International Conference on Permafrost (TICOP 2012), in particular, a vice-head of Cryolithology and Glaciology department Valery Grebenets (Lomonosov Moscow State University) for considerable help in soil sampling.

### References

- Antcibor, I. 2014: Content, Distribution, and Translocation of Trace Elements in Permafrost-Affected Environments of the Siberian Arctic, Dissertation, XVIII + 167 pp.
- Bassler, R. (Ed.) (1997): Methoden. Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- DIN ISO 10390: Soil quality - Determination of pH (DIN ISO 10390:2005).
- DIN ISO 10694: Soil quality – determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis) (DIN ISO 10694:1995).
- DIN ISO 11277: Soil quality: Determination of particle size distribution in mineral soil material - Method by sieving and sedimentation (DIN ISO 11277:1998+ISO 11277:1998 Corrigendum 1:2002).
- Höfle, S., Rethemeyer, J., Mueller, C. W., and John, S. 2013: Organic matter composition and stabilization in a polygonal tundra soil of the Lena Delta, Biogeosciences, 10, 3145-3158, Doi:10.5194/bg-10-3145-2013.
- Gorjachkin S.V. Soil cover of the North: structure, genesis, ecology, evolution, M.: GEOS.- 2010.- S. 414. (*in Russian*).
- GOST 17.4.4.02-84 «Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlja himicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza» (Nature protection. Methods of sampling for chemical, bacteriological and gelmintological analyses) (*in Russian*).
- GOST 17.4.3.03-85: «Ohrana prirody. Pochvy. Obshhie trebovaniya k metodam opredeleniya zagryaznjajushih veshhestv» (Nature protection. Soils. General requirements to methods of determination of pollutants) (*in Russian*).
- Katchinskiy, N. A. 1970: Soil physics, M: High School, 360 pp (*in Russian*).
- Korobova, E. M., Ukraintseva, N. G., Surkov, V. V., and Brown, J. B. 2003: Geochemical study of the tundra landscapes in the Yenisey delta and gulf area, Permafrost, Phillips, Springman & Arenson: 601 – 606.
- Ping, C. L., Michaelson, G. J., Kimble, J. M., and Walker, D. A. 2005: Soil acidity and exchange properties of cryogenic soils in Arctic Alaska. Soil Science and Plant Nutrition, 51 (5), 649 – 653, Doi: 10.1111/j.1747-0765.2005.tb00083.xPND F 16.1.42-04: «Metodika vypolnenij massovoj doli metallov i oksidov metallov v poroshkovykh probah pochv rentgenofluorescentnym metodom. M-049-P/10 (Methods of identification of metal content in powdered samples on the base of X-ray fluorescent method) (*in Russian*).
- Rastvorova, O. G. 1970: Soil physics (practice guide), L: Leningrad State University Publisher, 191 pp (*in Russian*).
- Russian's Weather Senter 2015: <http://meteo.infospace.ru>, last access: 14.03.2015.
- SanPiN 42-128-4433-87 «Sanitarnye normy dopustimyh koncentracij himicheskikh veshhestv v pochve» (Sanitary norms for available concentrations of chemical compounds in soils).
- Shishov, L. L., Tonkonogov, V. D., Lebedeva, I. I., and Gerasimova, M. I. (2004): Russian soil classification system ("Classifikatsya i diagnostika pochv Rossii"). "Oykumena" Press, Smolensk, 342 pp (*in Russian*).
- Stolbovoi, V. V., Savin, I., and Sheremet, B. 2002: Soils and Soil Reference Profiles, in: Land Resources of Russia, edited by: Stolbovoi V., and McCallum, I., Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science. CD-ROM, Distributed by the National Snow and Ice Data Center, Boulder.
- Tarnocai, C., Canadell, J.G., Schuur, E.A.G., Kuhry, P., Mazhitova, G., and Zimov, S. 2009: Soil organic carbon pools in the northern circumpolar permafrost region. Global Biogeochemical Cycles 23, GB2023: 11 pp.
- Tomashunas, V. M. and Abakumov. E. V. 2014: Concentrations of heavy metals in soils of Yamal Peninsula and Belyi Island, Gigiena i Sanitariia 6: 26 – 3.
- Vasil'evskaja V.D. 1980: Pochvoobrazovanie v tundrah Srednej Sibiri (Soil formation in the Western Siberian tundras). M., Nauka, 241 pp.
- Russian Academy of Agricultural Sciences: Field guide of Russian soil classification 2008: Institute of Soil Sciences by name of V. V. Docuchaev, Moscow, 182 pp (*in Russian*).



## Возраст мерзлоты как основной фактор микробиологических исследований криолитозоны

А.А.Абрамов, Е.М.Ривкина

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХиБПП РАН), Пушкино*

### Реферат

Поскольку возраст микроорганизмов сохранивших жизнеспособность в мерзлых отложениях равен возрасту последнего промерзания, то точные сведения о истории развития мерзлоты чрезвычайно важны для адекватной интерпретации микробиологических данных. Анализ показывает, что максимальное время непрерывного нахождения отложений в мерзлом виде для Арктики составляет около 1 миллиона лет. Отложения данного возраста относятся к Олерской свите, и вскрываются на территории Индигирско-Колымской низменности.

**Ключевые слова:** Арктика, микроорганизмы, возраст мерзлоты

### Permafrost Age as the Main Issue in the Permafrost Microbiology

A.A.Abramov, E.M.Rivkina

*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science RAS (IPCaBPSS RAS), Pushchino, Russia*

### Abstract

As the age of the viable microbes in the permafrost is equal to the age of last freezing of the deposits, the history of the permafrost formation is very important for the adequate interpretation of the micro- and molecular biology data. Current data indicates that the maximum age of continuously frozen layers in the Arctic area are close to 1 million of years. The deposits of this age are found in the Indigirka-Kolyma lowland.

**Key Words:** Arctic area, microorganisms, permafrost age

### Введение

Жизнеспособные сообщества микроорганизмов из многолетнемерзлых пород активно изучаются в последние десятилетия. Интерес к этой теме поддерживается как глобальными изменениями климата, так и востребованностью в астробиологических исследованиях. Основные результаты хорошо известны [Graham et al 2012, Jansson & Taş 2014], но некоторые моменты требуют дополнительного изучения. Одним из основополагающих вопросов при интерпретации микро- и молекулярно биологических данных является время непрерывного нахождения пород в мерзлом виде, который не всегда совпадает с геологическим возрастом отложений.

Выделение древней ДНК и жизнеспособных организмов из многолетнемерзлых пород требует информации о режиме криоконсервации, и моменте крайнего промерзания. Для восточного сектора Арктики в обзоре [Repenning & Brouwers 1992] по данным о биохронологии мелких млекопитающих и морской фауны, палеомагнитных свойствах отложений и споропыльцевого анализа делается вывод о начале формирования многолетнего промерзания в интервале от 3 до 2 миллионов лет назад, когда на территории Берингийской суши лесная растительность сменилась на лесотундровую и тундровую. Первые следы многолетнего промерзания датируются периодом 2.4 миллиона лет назад и связан с отложениями слоев

Кутуях. Окончание первого периода похолодания было отмечено значительным потеплением в Северном полушарии, самым заметным в Плейстоцене. Второй период похолодания начался с периода 1.7 миллиона лет назад, и достиг максимума в Ледниковый период. В это время также отмечаются многочисленные периоды потеплений, с периодичностью 100 000 – 300 000 лет. Согласно палеоклиматической реконструкции по керну скважины озера Эльгетгым, наиболее заметные периоды потепления отмечены 1.1, 0.4 и 0.01 миллиона лет назад [Melles et al 2012]. Исходя из имеющихся данных, мы предполагаем что многолетнемерзлые породы непрерывно существуют в Арктике (Рис. 1) на протяжении последнего миллиона лет. Самые древние на сегодняшний момент сингенетические толщи мерзлых пород, содержащие ледяные жилы, обнаружены в районе Юкона в Канаде, и имеют возраст  $740\,000 \pm 60\,000$  [Froese et al 2008, Millar & Lambert 2013]. Из этих отложений был выделен самый древний геном лошади. Фрагменты древней ДНК были также выделены из донной части скважин на ледниковом щите Гренландии. Возраст льда с примесью обломочного материала оценивается в  $450\,000 - 800\,000$  лет [Willerslev et al 2007]. В то же время возраст льда в основной части скважин достигает возраста 200 000 лет [Sturevik-Storm et al 2014].

На междуречье Индигирки – Колымы к самым древним не протаивавшим многолетнемерзлым отложениям относится Олерская свита (0.7-1.4 миллиона лет), в отложениях Бегуновской свиты (около 2.7 миллиона лет)

обнаружены следы сезонного промерзания, а в отложениях слоев Кутуях (2.2-2.5 миллиона лет) – следы многолетнего промерзания [Repenning & Brouwers 1992] (рис.2). Во время формирования отложений Олерской свиты на данной территории были распространены кустарничковые тундры. В основании свиты в районе реки Крестовка пропорция кустарничковой и древесной растительности составляет 40% спектра [Giterman et al 1982]. Флора была более разнообразна, но, в целом, близка к наблюдаемой в этом районе сегодня. Верхняя часть разреза свиты имеет нормальную намагниченность, а пропорция кустарничковой и древесной растительности сокращается до 5%, при практически полном отсутствии древесных пород [Sher et al 1979].

Отсутствие ледяных жил и присутствие псевдоморфоз по ним, в совокупности с низкой льдистостью отложений, говорит, скорее, о эпикриогенном промерзании толщи в районе 1 миллиона лет назад. Точные датировки затруднены отсутствием слоев тефры (имеющихся в Канаде, например) и невозможности использовать космогенные изотопы  $Cl^{36}$  по причине невысокой льдистости. Самые древние сингенетические отложения, содержащие ледяные жилы, обнаружены в районе пролива Дмитрия Лаптева и датируются по изотопам  $^{230}Th/U$  и  $Cl^{36}$  в интервале 200 000 – 400 000 (Юкагирская свита) [Blinov et al 2009, Schirmeister et al 2002, Тумской 2012].

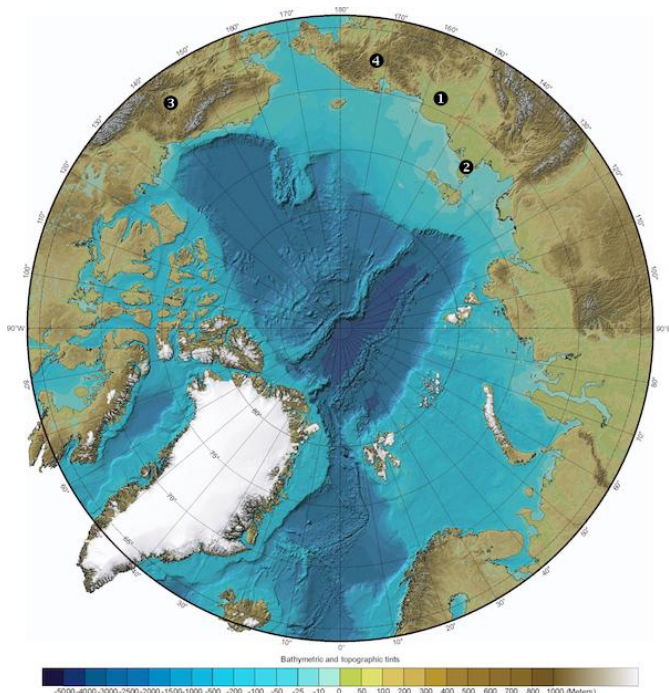


Рис. 1. Карта Арктики. Отмечены районы упомянутые в тексте: 1 – разрезы Олерской свиты на р.Алазея; 2 – пролив Дмитрия Лаптева; 3 – район Юкона, Канада; 4 – озеро Эльгегетгым.

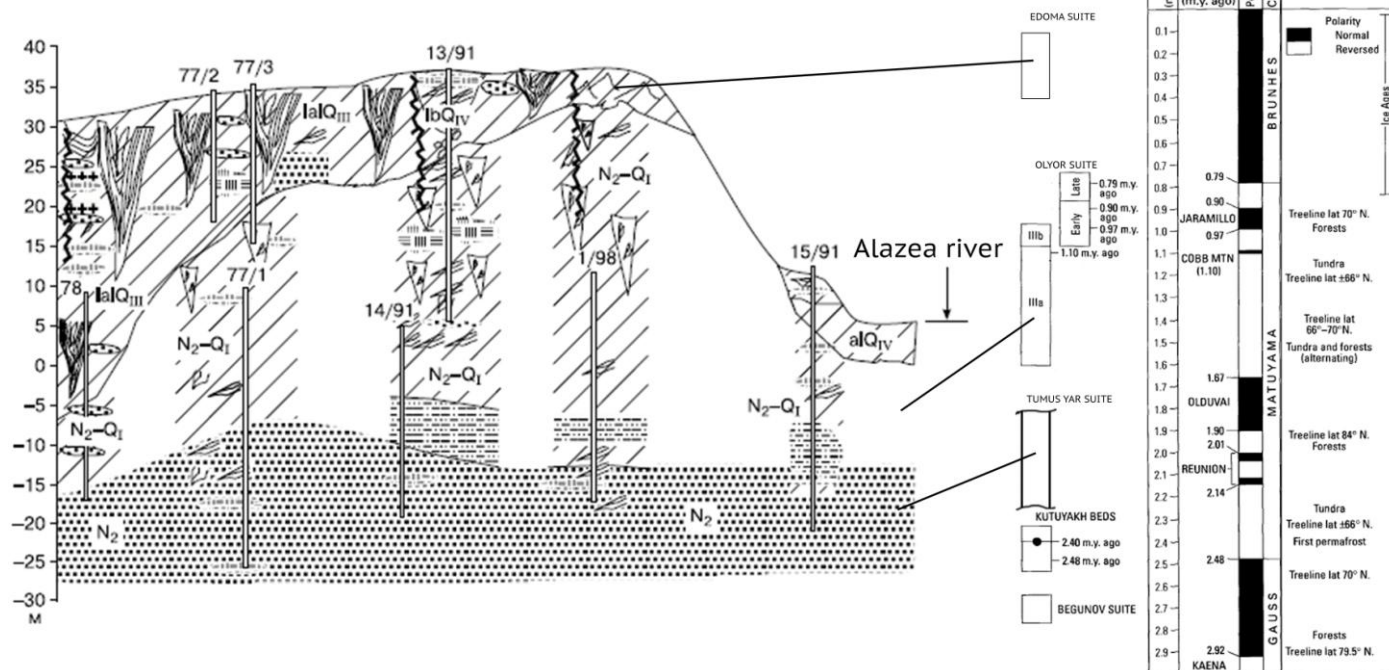


Рис.2. Схема разреза в районе р. Алазея и стратиграфическая схема отложений последних 3 миллионов лет (по [Repenning & Brouwers 1992] с изменениями)

Реконструкции палеотемпературных условий последних трех миллионов лет до сих пор весьма дискуссионны. Можно считать, что амплитуда изменений среднегодовых температур пород не выходила за рамки

10°C по сравнению с сегодняшними значениями (-8...-11°C).

Таким образом, мы считаем что самые древние мерзлые отложения Арктики находятся в мерзлом состоянии на протяжении последнего миллиона лет, что



близко к теоретическому пределу сиквенируемости ДНК при характерных для данного района температурах криоконсервации биологического материала [Willerslev et al 2003, Millar & Lambert 2013].

Летом 2015 годы мы планируем получить образцы самых древних мерзлых отложений Арктики для проведения комплексных исследований.

### Благодарности

Данные исследования частично поддержаны грантом РФФИ 15-04-07772.

### Литература

- Тумской В.Е. (2012) Особенности криолитогеоза отложений Северной Якутии в среднем неоплейстоцене – голоцене // Криосфера Земли, том 16, № 1, с. 12-21.
- Froese DG, JA Westgate, AV Reyes, RJ Enkin, SJ Preece (2008) Ancient Permafrost and a Future, Warmer Arctic // Science, vol 321, p. 1648.
- Gitterman, R.E., Sher, A.V., and Matthews, J.V. (1982) Comparison of the development of tundra-steppe environments in west and east Beringia-Pollen and macrofossil evidence from key sections, in Hopkins, D.M., Matthews, J.V., Jr., Schweger, C.E., and Young, S.B., eds., *Paleoecology of Beringia*: New York, Academic Press, p. 43-73.
- Graham DE, Matthew D Wallenstein, Tatiana A Vishnivetskaya, Mark P Waldrop, Tommy J Phelps, Susan M Pfiffner, Tullis C Onstott, Lyle G Whyte, Elizaveta M Rivkina, David A Gilichinsky, Dwayne A Elias, Rachel Mackelprang, Nathan C VerBerkmoes, Robert L Hettich, Dirk Wagner, Stan D Wulfschlegler and Janet K Jansson (2012) Microbes in thawing permafrost: the unknown variable in the climate change equation // The ISME Journal 6, 709-712. Jansson JK & Taş N. (2014) The microbial ecology of permafrost // Nature Reviews Microbiology, Vol.12, p. 414-425.
- Melles M., J Brigham Grette, PS Minyuk, NR Nowaczyk, V Wennrich, RM DeConto, PM Anderson, AA Andreev, A Coletti, TL Cook, E Haltia Hovi, M Kukkonen, AV Lozhkin, P Rosén, P Tarasov, H Vogel, B Wagner (2012) 2.8 Million Years of Arctic Climate Change from Lake El'gygytgyn, NE Russia // Science, Vol. 337, N. 6092, p. 315-320.
- Millar C. & Lambert D. (2013) Ancient DNA: Towards a million-year-old genome // Nature: 499, 34–35.
- Repenning A. & Brouwers E. (1992) Late pliocene-early pleistocene ecologic changes in the arctic ocean borderland U.S. geological survey bulletin 2036, US government printing office, Washington.
- Schirmermeister L, D Oezenb, MA Geyhb (2002) 230Th/U Dating of Frozen Peat, Bol'shoy Lyakhovsky Island (Northern Siberia) // Quaternary Research, Vol. 57, Issue 2.
- Sher, A.V., Kaplina, T.N., Kouznetsov, Yu.V., Virina, E.I., Zazhigin, V.S. (1979) Late Cenozoic of the Kolyma Lowland: Pacific Science Congress, 14th, Tour Guide 11, Moscow, Academy of Sciences of the U.S.S.R., 115 p.
- Sturevik-Storm, A. et al. (2014) 10Be climate fingerprints during the Eemian in the NEEM ice core, Greenland. Sci. Rep. 4, 6408.
- Willerslev, E., A. Hansen, J. Binladen, T. Brand, M. Gilbert, B. Shapiro, M. Bunce, C. Wiuf, D. Gilichinsky, and A. Cooper (2003) Diverse Plant and Animal Genetic Records from Holocene and Pleistocene Sediments // Science, v. 300, no. 5620: 791-795.
- Willerslev E., Enrico Cappellini, Wouter Boomsma, Rasmus Nielsen, Martin B. Hebsgaard, Tina B. Brand, Michael Hofreiter, Michael Bunce, Hendrik N. Poinar, Dorthe Dahl-Jensen, Sigfus Johnsen, Jørgen Peder Steffensen, Ole Bennike, Jean-Luc Schwenninger, Roger Nathan, Simon Armitage, Cees-Jan de Hoog, Vasily Alfimov, Marcus Christl, Juerg Beer, Raimund Muscheler, Joel Barker, Martin Sharp, Kirsty E. H. Penkman, James Haile, Pierre Taberlet, M. Thomas P. Gilbert, Antonella Casoli, Elisa Campani, and Matthew J. Collins (2007) Ancient Biomolecules from Deep Ice Cores Reveal a Forested Southern Greenland // Science: 317 (5834), 111-114.



## Палеопедогенез в экстремальных климатических условиях позднеледниковья и голоцена

А.Л.Александровский  
Институт географии РАН, Москва

### Реферат

В пределах современных тайги и подтайги Европейской России встречаются палеопочвы аллерёда и голоцена, с признаками формирования в экстремальных климатических условиях. Аллередские почвы переработаны процессами солифлюкции и криотурбаций, в условиях холодного субарктического климата и ландшафта, сходного с современным тундровым. Вместе с тем, наряду с позднеледниковыми палеомерзлотными образованиями, здесь встречаются средне- и позднеголоценовые клиновидные структуры, иногда крупных размеров. Вероятно, они образовались в относительно непродолжительные периоды похолоданий, как грунтовые жилы слоя сезонного промерзания.

**Ключевые слова:** голоцен; криогенез; криотурбации; палеоклимат; палеопочвы; позднеледниковье.

### Paleopedogenesis in the Late-Pleistocene and Holocene Extreme Climatic Conditions

A.L.Alexandrovskiy  
Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

### Abstract

Within the modern taiga and subtaiga zones of European Russia, paleosols of the Alleröd and Holocene ages with the features attesting to their development under extreme climatic conditions can be found. Alleröd paleosols were transformed by solifluction and cryoturbation process typical of cold subarctic climate and landscape conditions similar to those in the modern tundra zone. At the same time, along with paleocryogenic features of the latest glaciation stages, Middle- and Late-Holocene wedge-shaped structures (sometimes, of considerable size) can be found in the soils. It is probable that they were formed during relatively short cooling stages as ground wedges in the seasonally freezing layer.

**Key Words:** cryogenesis; cryoturbation; Holocene; Late-Glacial; paleoclimate; paleosols.

### Введение

Похолодание климата времени оледенений приводило к расширению арктического и субарктического поясов. В частности, в центре Русской равнины, субарктические (тундровые или тундро-степные) ландшафты, существовали долгое время, в том числе и в позднеледниковье. Изменения ландшафтов на современные лесные в начале голоцена прослеживаются в сменах характера педогенеза.

В центре Русской равнины почвы позднеледникового возраста встречаются в разных геоморфологических позициях: в нижних частях склонов, реже в автономных позициях - на водоразделах и террасах, сложенных с поверхности лессовидными суглинками. Встречаются они и в древнем пойменном аллювии. Обычно эти почвы представлены темноцветными, в той или иной степени переотложенными солифлюкционными процессами гумусовыми горизонтами и гумусовыми клиновидными структурами.

Существуют представления о том, что все реликтовые темноцветные гумусовые горизонты, имеющие признаки клиновидных и других криогенных нарушений, относятся ко времени оледенения [Алифанов 1995]. В последнее время были обнаружены клиновидные

образования голоценового возраста [Александровский 2008].

### Педогенез времени позднеледниковья

Погребенные почвы позднеледниковья формировались в периоды потеплений – интерстадиалов. Мерзлота оттаивала неглубоко, что препятствовало выщелачиванию карбонатов, также создавались условия для оглеения и накопления гумуса. Для более ранних интерстадиалов характерны оглеенные горизонты (трубчевский уровень оглеения), для аллерёда – темногумусовые горизонты гуматно-Са состава. Также, в отличие от современных, в почвах аллерёда признаки текстурной дифференциации почв отсутствуют, наоборот, для них характерна оглиненность.

Возраст клиновидной структуры (Теханово, юг Ярославской обл.), залегающей под голоценовой дерново-подзолистой почвой и датированной по гуминовым кислотам методом  $^{14}\text{C}$ , составляет  $10300 \pm 60$  лет (ИГАН-215). Очевидно, это переотложенный материал гумусового горизонта аллерёдской почвы. Дата несколько омоложена за счет гумусовых веществ, вымытых в голоцене при формировании горизонта. Клиновидная структура (70-110 см, рис. 1) заполнена сильногумусированным



тяжелым суглинком, плотным, красновато-темнобурого и красновато-черного цвета. Хорошо видна первичная солифлюкционная слоистость заполнения. Несогласно этой слоистости гумусированный материал заполнения разбит голоценовой трещинной сетью, образующей ореховатую и ореховато-призматическую структуру горизонтов B1 и B2t современного почвенного профиля. На поверхности ореховатых структурных отдельностей, в пределах клиновидной структуры и вне ее, лежат красновато-бурые глинистые натеки и белесая кварцевая присыпка.

Условия почвообразования другие интерстадиалы позднеледниковья характеризуются как тундро-степные. Данные исследования состава гумуса почвы аллерёда показывают преобладание в них гуминовых кислот, а также высокое содержание второй их фракции. По этим показателям они сближаются с реликтовым вторым гумусовым горизонтом среднего голоцена и с современными черноземами и лугово-черноземными почвами [Караваяева 1978; Чичагова и др. 1979].

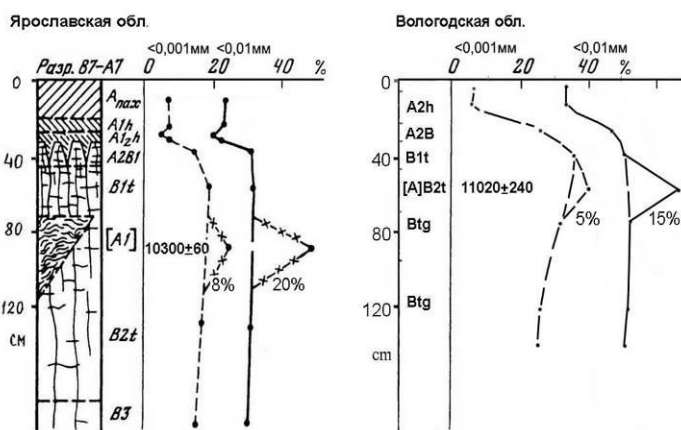


Рис. 1. Распределение тонких частиц в профиле голоценовых дерново-подзолистых лесных и погребенных почв аллерёда

В отличие от голоценовой, аллередская погребенная почва признаков выноса тонких частиц из верхней части профиля не имеет, а наоборот, характеризуется накоплением 8% фракции ила (<0,001 мм) и 20% физической глины (<0,01мм) в ее гумусовом темноцветном горизонте [A1] (рис. 1). Сходное накопление данных фракций также обнаружено в почве аллерёда из Вологодской области (глубина 50-70 см, рис.1). Наоборот, из верхней части профиля голоценовой подзолистой почвы тонкие фракции выносятся интенсивно [Караваяева и др. 1996].

Высокая оглиненность характерна и для гумусового горизонта аллередской почвы, погребенной в пойме Москвы-реки в районе Тушино и характеризующейся радиоуглеродными датами 11780±290 (IGAN-2319) и 11260±300 (Ki-10562) лет назад. Почва имеет признаки клиновидных структур и развивалась в условиях близкого залегания мерзлоты. Та же оглиненность видна на примере почв более древних межстадиалов, также развивавшихся в мерзлотных условиях [Глушанкова 2008]. В отличие от них межледниковые почвы, исследованные Н.И Глушанковой, а также почвы в

разрезу Тушино и другие почвы голоцена признаков такого оглинивания не имеют и, чаще всего, особенно почвы, формирующиеся под лесной растительностью, испытывают сильный вынос глины. Вероятно, оглинивание почв межстадиалов и позднеледниковья было вызвано высоким залеганием мерзлоты, которая препятствовала миграции тонких частиц в нижнюю часть профиля почв. Поэтому фракции ила и физической глины накапливались в самой верхней части профиля, обычно в пределах их гумусового горизонта.

Природные условия позднеледниковья характеризовались существенными колебаниями. В периоды похолоданий (поздний дриас) условия несомненно были тундро-степными. В периоды потеплений и формирования почв (аллерёд) рассматриваемая нами территория могла выходить за пределы субарктического пояса. Вместе с тем, наличие процессов оглинивания в почве аллерёда показывает, что в течение всего этого периода почвообразования, или на протяжении заключительной его части существовала мерзлота. Это свидетельствует о сохранении экстремальных условий педогенеза и в данный отрезок времени.

### Клиновидные образования голоцена

В южной части Москвы в Борисовском парке (правобережье р. Городня) в больших археологических раскопах и шурфах, в районе древних поселений Борисово I (средневековье) и Шпилово I (ранний железный век), были выявлены микроструктуры почвенного покрова, включавшие реликтовые горизонты, трещины и клинья, образующие полигоны, а также пятна и другие морфоны. Почвы дерново-подзолистые на лессовидных суглинках, характеризуются сильной дифференциацией профиля, наличием второго гумусового горизонта (ВГ) и гумусированных клиновидных образований, связанных с ВГ. Во многих случаях они погребены под слоем недавнего агроделювия. Согласно мнению большинства исследователей, ВГ имеет не погребенное, а деградационное происхождение, и представляет собой сохранившуюся нижнюю часть среднегоголоценовых гумусовых горизонтов. Верхняя его часть деградировала под воздействием процессов оподзоливания.

Проведенные исследования показали, что история почв с ВГ была значительно более сложной, чем представлялось ранее. Так, на территории центральной части Русской равнины многими исследователями отмечались клиновидные нарушения, имеющиеся по нижней границе ВГ. Сама клиновидная форма деформаций заставляла предполагать, что они относятся к доголоценовым этапам развития почв и ландшафтов [Алифанов 1995]. Вместе с тем, рядом исследователей, были обнаружены клиновидные деформации, явно связанные с голоценовыми. Причем клиновидные нарушения в большинстве случаев имели небольшие размеры [Величко и др. 1997]. В изученных нами почвах на Борисовских прудах, особенно в шурфе 8 (Шпилово

1), клиновидные образования оказались значительно более крупными.

На объекте Шипилово 1, в южной стенке шурфа 8 под слоем современных техногенных отложений, пахотным намытым горизонтом и культурным слоем, общей мощностью 60 см, лежит подзолистая почва. Под её гумусо-элювиальным горизонтом A1E (10 см) белёсо-серого цвета располагается темно-серо-бурый реликтовый (второй) гумусовый горизонт A1h ( $5790 \pm 130$  лет). Еще ниже в светло-буром иллювиальном горизонте Bt выделяются два клина. Левый глубиной до 140 см, более глинистый серо-бурый, плотный. Второй, до 110 см, заполнен элювированным белесо-серым материалом. Клинья меньшего размера в плане образуют полигональную трещинную сеть диаметром ячеек 20–40 см. Имеются палеокротовины и турбированные гумусированные прослойки (остатки древних почв). По гумусу почвенных горизонтов, клиньев и культурного слоя получена серия радиоуглеродных дат (рис. 2).

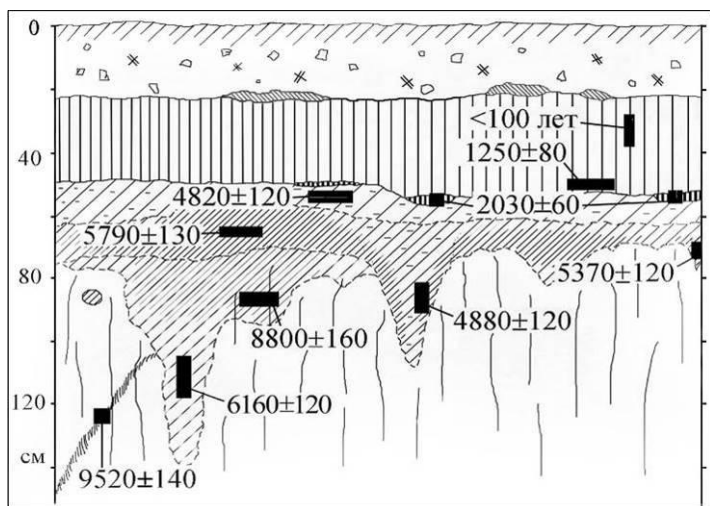


Рис. 2. Радиоуглеродный возраст гумуса реликтовых горизонтов, клиновидных образований и культурного слоя шурфа 8 (южная стенка).

Результаты датирования свидетельствуют о голоценовом возрасте ВГ и связанных с ним клиньев. Отметим, что имеются данные о возможности образования таких клиньев, характеризуемых, как грунтовые жилы слоя сезонного промерзания, в голоцене [Величко и др. 1997]. Позднее время образования правого клина подтверждается тем, что он заполнен таким же как и гумусо-элювиальный горизонт, темноцветным, но уже элювированным материалом. На это же указывает почти полная идентичность дат, полученных по этому горизонту и по клину: 4820 и 4880 лет (рис. 2).

Пока возраст клиновидных деформаций определен не точно. Следует учитывать воздействие процессов омоложения гумуса, как в самом ВГ, так и в клиньях. Темпы омоложения гумуса в почвах Восточной Европы могут существенно различаться [Alexandrovskiy Chichagova 1998]. Предположительно, один из этапов образования клиновидных деформаций сопоставляется со временем похолодания на рубеже бореального и

атлантического периодов около 8000 лет назад [Климанов 1994]. К этому времени можно отнести глубокие клинья, заполненные темноцветным гумусированным материалом раннеголоценовых почв. Заполнение этих клиньев отличается высоким содержанием фракции ила. Вероятно, почвы тогда еще не имели достаточно развитых элювиальных горизонтов. Правый клин образовался, вероятно, в период похолодания на рубеже атлантического и суббореального периодов (5–4,5 тыс.л.н.), после того, как в почве образовался гумусо-элювиальный осветленный горизонт в верхней части профиля и иллювиальным – в нижней. Также может быть предложена и другая схема хронологии гумусированных образований исследованного профиля. Клин, заполненный неэлювированным материалом с датой  $6160 \pm 120$  лет, может быть отнесен к периоду холодного климата 5–4,5 тыс.л.н., более молодые клинья, заполненные элювированным материалом, – к периоду похолодания около 2,5 тыс. л.н. В таком случае, появление достаточно развитого дифференцированного профиля дерново-подзолистой почвы следует относить к более позднему времени. Вероятно, к суббореальному периоду.

## Заключение

В пределах современных тайги и подтайги Европейской России встречаются палеопочвы аллереда и голоцена, с признаками формирования в экстремальных климатических условиях. Аллередские почвы переработаны процессами солифлюкции и криотурбаций, в условиях холодного субарктического климата и ландшафта, сходного с современным тундровым. Вместе с тем, наряду с позднеледниковыми палеомерзлотными образованиями, здесь встречаются средне- и позднеголоценовые клиновидные структуры, иногда крупных размеров. Вероятно, они образовались в относительно непродолжительные периоды похолоданий, в условиях длительной сезонной мерзлоты. Почвенные и мерзлотные процессы действовали асинхронно: в периоды потеплений (аллеред) формировались гумусовые горизонты почв, затем, в периоды похолоданий (поздний дриас), они трансформировались под воздействием солифлюкции, развития клиновидных структур и др.

Почвы аллерёда, в отличие от голоценовых, в значительной степени оглинены. Это очевидно связано с близким залеганием мерзлоты, препятствовавшей выносу тонких фракций из верхнего горизонта. Следовательно, потепление климата в течение этого периода было не столь высоким, и не вызвало исчезновения мерзлоты.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 14-27-00133.

## Литература

Александровский А.Л. Запись природной среды в почвах голоцена. – Память почв: Почва как память



- биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – С. 75-105. *(на русском языке)*
- Александровский А.Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. – М.: Наука, 1983. – 150 с. *(на русском языке)*
- Алифанов В.М. Палеокриогенез и современное почвообразование. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1995. – 320 с. *(на русском языке)*
- Величко А.А., Зеликсон Э.М., Морозова Т.Д., Нечаев В.П., Порожнякова О.М., Чичагова О.А. Палеогеографические условия атлантического периода голоцена центра Русской равнины. – Доклады АН, 1997. т. 355, № 4. С.540-543. *(на русском языке)*
- Глушанкова Н.И. Палеопедогенез и природная среда Восточной Европы в плейстоцене. – Смоленск: Маджента, 2008. – 348 с. *(на русском языке)*
- Караваева Н.А. Генезис и эволюция второго гумусового горизонта в почвах южной тайги Западной Сибири. – Почвообразование и выветривание в гумидных ландшафтах. – М.: Наука, 1978. – С. 133-157. *(на русском языке)*
- Караваева Н.А., Черкинский А.Е., Горячкин С.В. Второй гумусовый горизонт и проблема эволюции подзолистых суглинистых почв Русской равнины. – Эволюция и возраст почв СССР. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1986. – С. 120-138. *(на русском языке)*
- Климанов В.А. Изменение климата на территории Восточной Европы в голоцене. – Палеогеографическая основа современных ландшафтов. – М.: Наука, 1994. – С. 150-152. *(на русском языке)*
- Чичагова О.А., Аммосова Я.М., Александровский А.Л. Исследование органического вещества разновозрастных ископаемых почв. - Накопление и преобразование седикахитов. – М.: Наука, 1979. – С. 81-86. *(на русском языке)*
- Alexandrovskiy A.L., Chichagova O.A. The C-14 age of humic substances in paleosols. Radiocarbon 40/2, 1998: 991-997.



## Бугры пучения в долине реки сенца, окинское плоскогорье, Восточный Саян

С.В.Алексеев, С.Г.Аржанников, Л.П.Алексеева,  
*Институт земной коры СО РАН*  
 Ю.К.Васильчук,  
*Московский государственный ун-т им. М.В. Ломоносова*  
 Е.А.Козырева  
*Институт земной коры СО РАН*

### Реферат

Впервые исследованы бугры пучения долине р. Сенца на Окинском плоскогорье Восточного Саяна. Охарактеризованы морфология и структура одного из крупных бугров, состав и текстуры вмещающих отложений, химический состав льда, слагающего его ядро. Сформулирован вывод о том, что изученный бугор пучения, возможно, сформировался в результате как сегрегационного, так и инъекционного льдообразования в рыхлых озерно-аллювиальных отложениях.

**Ключевые слова:** бугор пучения; многолетняя мерзлота; ледогрунт; инъекционный лед; сегрегационный лед; Восточный Саян.

### Frost Mounds in the Sentsa River Valley, the Oka Plateau, East Sayan Mts.

S.V.Alexeev, S.G.Arzhannikov, L.P.Alexeeva,  
*Institute of the Earth's Crust SB RAS*  
 Yu.K.Vasilchuk,  
*Lomonosov Moscow State University*  
 E.A.Kozyreva  
*Institute of the Earth's Crust SB RAS*

### Abstract

For the first time the frost mounds over the Sentsa River valley on the Oka plateau of Eastern Sayan were investigated. Morphology, structure of the largest mound, composition and texture of the deposits, the chemical composition of the core ice were characterized. The studied frost mound may have formed as a result of both segregative and injective ice formation in unconsolidated lacustrine-alluvial sediments.

**Key Words:** frost mound; permafrost; ice-ground; intrusive ice; segregated ice; East Sayan Mountains.

### Введение

Бугры пучения (пальса, литальса, пинго и др.) – характерные образования в криолитозоне, формирующие специфический криогенный рельеф. Их возникновение обусловлено сегрегационным либо инъекционным льдообразованием в рыхлых отложениях или сочетанием этих процессов. Бугры пучения каждого генетического типа имеют особое строение, форму в плане и разрезе, особенности развития и время существования. Они широко развиты как в северной, так и южной геокриологических зонах.

В ходе проведения комплексных научно-исследовательских работ на Окинском плоскогорье Восточного Саяна в долине р. Сенца впервые обнаружена серия крупных бугров пучения. В настоящее время генезис этих бугров является предметом дискуссии.

### Район исследования

Окинское плоскогорье находится в восточной части Восточного Саяна. Оно расположено на высоте 1800-2400 м над уровнем моря и является водосбором Иркутка,

Оки, Китоя, Урика. Приток р. Оки – Сенца – прорезает Окинское плоскогорье на глубину 800 м (рис. 1). Долина р. Сенца представляет собой классический трог с элементами ледникового рельефа в виде боковых и конечных морен позднеплейстоценового возраста [Олюнин 1965].

Меандрирующее русло реки и большое количество стариц и озер свидетельствуют о перегруженности долины осадочным материалом. Отложения аллювиального, озерного, гляциального, делювиального и пролювиального генезиса, выполняющие долину реки, представлены суглинками, супесями, песками, галечниками, валунами. Мелкозернистые отложения, формировавшиеся в озерных котловинах и речной долине при низких скоростях течения воды, явились благоприятной средой для активизации процессов пучения поверхности поймы и террасы р. Сенца в период многолетнего промерзания.

Климат в пределах Окинского плоскогорья резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха в зависимости от абсолютной высоты изменяется от  $-5,6^{\circ}\text{C}$  (1372 м) до  $-6,6^{\circ}\text{C}$  (2084 м) [Геокриология СССР 1989].



Криолитозона имеет сплошное распространение с тенденцией уменьшения в западном и северо-северо-восточном направлении. Сплошность криолитозоны нарушается сквозными таликами в зонах разломов, которые картируются постояннодействующими источниками подземных вод, и несквозными таликами, связанными с отепляющим влиянием поверхностных водотоков и водоемов.

Мощность многолетнемерзлых пород на междуречных пространствах в среднем равна 170–200 м, а в долинах рек составляет 140–180 м. Среднегодовая температура мерзлых пород изменяется в пределах  $-3...-8,5^{\circ}\text{C}$  [Гидрогеология СССР 1970]. Сезонно протаивающий слой на междуречных пространствах имеет мощность 1,0–1,5 м, достигая 3,5 м на южных склонах.



Рис. 1. Долина р. Сенца (Окинское плоскогорье, Восточный Саян, Республика Бурятия, фото с сайта GoogleEarth).

## Материалы и методы исследования

В основу настоящей статьи положены материалы полевых исследований бугров пучения 2011–2014 гг., которые включали полевые маршрутные исследования, вскрытие, расчистку и детальную документацию разрезов с зарисовками и фотографированием, отбор образцов грунта и подземного льда из ядра бугра пучения. В лабораторных условиях в Аналитическом центре Института земной коры СО РАН выполнен анализ химического состава расплавов льда и физико-механических характеристик грунтов (гранулометрический и микроагрегатный состав) по стандартным методикам.

## Строение бугра пучения

Один из крупных изученных бугров пучения (Se-14-1) высотой 7 м с ледогрунтовым ядром находится на левой надпойменной террасе р. Сенца ( $52^{\circ}39.827'$  с.ш.,  $99^{\circ}29.858'$  в.д.), примыкая к озеру, предположительно термокарстового происхождения. Подробный разрез бугра представлен на рис. 2.

Описание разреза:

0–0,2 м – Почвенно-растительный слой.

0,2–0,6 м – Суглинок; однородная буровато-серая толща с редкими железистыми вертикальными и наклонными прожилками сменяется темно-серым суглинком.

0,6–1,1 м – Суглинок темно-серый средний пылеватый, микроструктура – агрегированно-скелетная. Глинистость суглинка 21,2%.

1,1–2,85 м – Суглинок темно-серый тяжелый пылеватый, микроструктура – агрегированно-скелетная. Глинистость суглинка 29,7%. Мерзлый, неравномерно льдистый. В верхней части шлиры льда имеют толщину до 10 мм; в средней части, на глубине около 2 м – толщина линз и прослоев льда достигает 15 мм. Криотекстура грунта слоистая, чешуйчатая.

2,85–3,25 м – Линза льда. Лёд молочного-белого цвета, с редкими включениями кусочков грунта размером 2–3 см.

3,25–3,80 м – Суглинок темно-серый тяжелый пылеватый, микроструктура – агрегированно-скелетная. Глинистость суглинка 30,5%. Мерзлый. В массе грунта выделяются блоки (до 10 мм) и линзы льда (до 5–8 мм). В интервале 3,25–3,60 м криотекстура грунта базально-слоистая.

3,80–4,0 м – Супесь темно-серая легкая. Микроструктура – агрегированно-скелетная. Мерзлая. Криотекстура слоисто-чашуйчатая.

4,0–4,65 м – Пласт льда. Лед – прозрачный, с многочисленными пузырьками округлой и вытянутой формы и обломками грунта.

4,65–8,10 м – Ледогрунт. В массе льда «плавают» блоки грунта – темно-серой супеси. Прослой и линзы льда имеют толщину 5–7 см, прослой грунта – 3–7 см. Видимая льдистость 60–70%. Криогенная текстура – крупношлировая и местами базальная. При вытаивании ледяных прослоев грунт имеет вид «слоеного пирога».

8,10–10,7 м – Суглинок желтовато-серый и голубовато-серый, мерзлый. Криотекстура в основном массивная и тонкошлировая, редкие шлиры толщиной 1–2 мм расположены неравномерно (наклонно и горизонтально).

## Химический состав льда

Химический состав расплавов подземного льда из линз и пластов в теле бугра пучения – гидрокарбонатный кальциевый с минерализацией  $6,5-153 \text{ мг/дм}^3$ , среда – слабокислая:  $\text{pH}=5,6-6,7$  (табл. 1). Изменение минерализации расплавов льда с глубиной происходит скачкообразно (см. рис. 2): минерализация расплава линз чистого льда в 10–20 раз выше, чем в нижележащем слое ледогрунта. Аналогично изменяется и концентрация аммония, а также сульфатов: в ледогрунтовом слое на глубине 6,1–7,7 м наблюдается резкое снижение содержания  $\text{NH}_4^+$  и практически полное отсутствие  $\text{SO}_4^{2-}$ , и, напротив, существенное повышение концентрации  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  – до 20 и 30 %-экв соответственно (табл. 1). В линзах льда на глубине 3,2–3,3 м и 4,6–4,9 м установлено значительное содержание сульфатов в составе расплавов – до  $37 \text{ мг/дм}^3$  (44 %-экв). А присутствие в них достаточно большого количества аммония – до  $12,5 \text{ мг/дм}^3$  (более 38 %-экв), а также нитратов и нитритов является особенностью ионного состава расплавов льда. Содержание  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  с глубиной не испытывает таких колебаний, составляя от 35 до 50 %-экв от суммы

катионов и от 55 до 70 %-экв от суммы анионов, соответственно. Вода в термокарстовом озере у подножья бугра пучения и в рр. Сенца и Ока имеет

гидрокарбонатный кальциевый состав и минерализацию 99-160 мг/дм<sup>3</sup>.

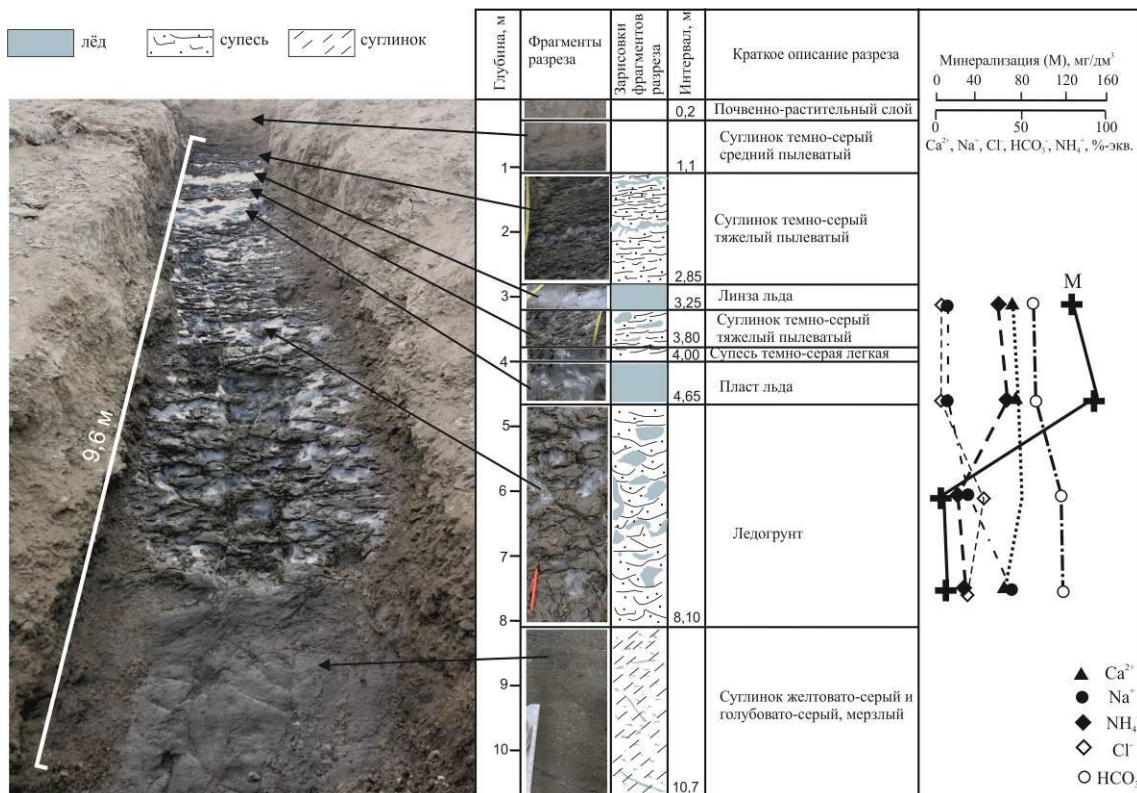


Рис. 2. Фото и зарисовки фрагментов разреза бугра пучения (Se-14-1) в долине р. Сенца.

### Дискуссия

Бугры пучения различных размеров хаотично расположены в долине р. Сенца (рис. 3). В основном они приурочены к области распространения суглинистых озерных отложений в зоне подпора, образованного барражом неопределенного генезиса (обвалы, залповые выбросы материала из боковых долин и др.) В голоцене после спуска древнего озера водонасыщенные отложения подверглись прогрессирующему всестороннему промерзанию.

При миграции влаги в сезонноталом или сезонномерзлом слоях происходило сегрегационное льдовыделение, приводившее к пучению рыхлых отложений. Сегрегационное льдовыделение, возможно, сопровождалось дополнительным притоком воды, которая при благоприятных условиях (наличие в грунтовой толще ослабленных литологических контактов, неоднородностей, возросшее артезианское давление и т.д.) внедрялась в рыхлые отложения и при замерзании формировала инъекционный лед. В результате могла образоваться обширная площадь с множеством бугров пучения разного размера либо один гигантский бугор, который в настоящее время, вероятно, разделен на отдельные фрагменты вследствие активного термокарста на надпойменной террасе и термоэрозии берегов р. Сенца.

Таким образом, приуроченность бугра пучения к озерно-аллювиальным отложениям р. Сенца, местами заболоченным, является свидетельством формирования его ядра в результате не только сегрегационного льдообразования при промерзании водонасыщенных осадков, но и неоднократного внедрения вод подруслового и пойменного водонасыщенных горизонтов, гидравлически связанных с речными водами. Линзы чистого льда мощностью 40 см на глубине 2,85 м и 65 см на глубине 4 м образовались, видимо, в результате наиболее мощных напорных инъекций воды, что приводило к дополнительному росту бугра пучения.

Предположение о нескольких событиях (по крайней мере, двух) внедрения подземных вод в тело бугра подтверждается скачкообразным изменением минерализации расплавов льда и содержания в них сульфатов и аммония на границе льдоминеральной части и чистого льда (см. рис. 2). Линзы льда сформированы более минерализованной водой, обедненной Na<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup> и обогащенной NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Естественными источниками азотосодержащих веществ (нитратов NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, нитритов NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и аммонийных солей NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) в водах служит органическое вещество животного происхождения – прижизненные выделения гидробионтов (бактерий, ракообразных и рыб) и озерные и озерно-болотные отложения, изобилующие органическими осадками. Источниками сульфатов в воде могли быть атмосферные осадки, насыщенные вулканическими газами в результате активной вулканической деятельности на Окинском плоскогорье в



интервале последних 13 тыс. лет [Рассказов и др. 2000; Аржанников и др. 2013], а также озерно-болотные отложения, богатые органическими осадками,

образующимися за счет отмирания мелких животных и растительных организмов, с резким запахом сероводорода.

Таблица 1. Химический состав расплавов подземного льда из бугра пучения на р. Сенца и речных вод.

№ п/п, название пробы	Глубина отбора пробы, м	рН	ИОННЫЙ СОСТАВ: МГ-ЭКВ/ДМ <sup>3</sup>											Сумма ионов, мг/дм <sup>3</sup>
			МГ/ДМ <sup>3</sup>											
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	
SE-14-1/11 SE-14-1/12	3,2-3,3	6,6	8,75	1,84	1,26	1,82	14,43	1,06	30,45	52,48	0,25	0,44	15,00	127,78
			0,49	0,05	0,05	0,15	0,72	0,03	0,63	0,86	0,01	0,01		
			33,29	3,23	3,76	10,30	49,42	1,95	41,26	55,97	0,35	0,46		
SE-14-1/24 SE-14-1/25	4,6-4,9	6,75	12,50	2,35	1,57	2,68	15,43	1,06	36,62	58,58	0,05	<0,44	22,00	152,84
			0,69	0,06	0,07	0,22	0,77	0,03	0,76	0,96	0,00			
			38,25	3,32	3,77	12,15	42,51	1,71	43,48	54,75	0,06			
SE-14-1/28	6,1-6,6	5,65	0,10	0,15	0,21	0,12	0,60	1,06	<2,00	4,27	<0,01	<0,44	<2,00	6,52
			0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,03		0,07				
			9,47	6,56	15,61	17,09	51,27	30,00		70,00				
SE-14-1/36	7,6-7,7	6,15	0,30	0,42	0,39	0,12	0,60	1,06	<2,00	7,32	1,00	<0,44	<2,00	11,22
			0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03		0,12	0,02			
			19,72	12,74	20,11	11,86	35,57	17,47		69,87	12,66			
Термокарстовое озеро	2,9	7,25	<0,10	1,71	1,34	3,40	30,46	1,06	17,08	93,97	0,75	<0,44	10,00	159,78
				0,04	0,06	0,28	1,52	0,03	0,36	1,54	0,02			
				2,30	3,06	14,72	79,92	1,54	18,31	79,30	0,84			
Река Сенца	Речная вода	7,65	<0,10	0,83	1,28	1,95	17,84	1,06	5,55	63,46	<0,01	0,44	7,00	99,40
				0,02	0,06	0,16	0,89	0,03	0,12	1,04		0,01		
				1,88	4,94	14,20	78,98	2,52	9,69	87,20		0,60		
Река Ока	Речная вода	7,85	<0,10	0,51	1,03	4,01	22,44	1,06	7,00	85,43	<0,01	0,44	10,00	131,93
				0,01	0,04	0,33	1,12	0,03	0,15	1,40		0,01		
				0,87	2,97	21,89	74,28	1,90	9,21	88,45		0,45		



Рис. 3. Бугры пучения в долине р. Сенца.

### Заключение

Изученный бугор пучения, один из многих, обнаруженных в пределах долины р. Сенца, представляет собой криогенное образование, вероятно, смешанного сегрегационно-инъекционного генезиса. Об этом свидетельствуют его строение (переслаивание линз и пластов чистого льда и мерзлого неравномерно льдистого грунта со слоистой, чешуйчатой и базально-слоистой криотекстурой) и химический состав расплавов льда, в ядре бугра, отражающий неоднократную инъекцию вод.

В последние десятилетия с ростом среднегодовой температуры воздуха в долине р. Сенца происходит

активное разрушение бугров пучения, сопровождающееся формированием небольших и крупных термокарстовых озер, значительное ежегодное отступление бровки надпойменной террасы в результате термоэрозии.

### Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 13-05-00361. Авторы выражают благодарность А.А. Рыбченко и А.А. Светлакову за помощь в проведении полевых работ.

### Литература

- Аржанников С.Г., Иванов А.В., Аржанникова А.В., Демонтерова Е.И. 2013. Долина вулканов в Восточном Саяне // Наука из первых рук. 2013, № 5/6 (53/54), с.66-83.
- Геокриология СССР. Горные страны юга СССР. 1989. / Под ред. Э.Д. Ершова. - М.: Недра, 1989. - 360 с.
- Гидрогеология СССР. Том XXII. Бурятская АССР. - М.: Недра, 1970. - 432 с.
- Олюнин В.Н. 1965. Неотектоника и оледенение Восточного Саяна. - М.: Наука, 1965. - 127 с.
- Рассказов С.В., Логачев Н.А., Брандт И.С., Брандт С.Б., Иванов А.В. 2000. Геохронология и геодинамика позднего кайнозоя (Южная Сибирь – Южная и Восточная Азия). – Новосибирск: Наука, 2000. – 288 с.

## Льдистость и минерализация порового раствора пород криогенной толщи газоносных структур северного Ямала

Ю.Б.Баду

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, Москва*

Е.Е.Подборный

*ООО « ЦГЭИ Центр гидроэкологических исследований », г. Санкт-Петербург*

### Реферат

Льдонасыщенность засоленных грунтов криогенной толщи северного Ямала в разрезах газоносных структур связана с условиями накопления осадков и их промерзания в позднем плейстоцене. Определена величина минерализации поровой влаги, замерзающей в дисперсных грунтах, которая соответствует величине солёности морской воды, в которой накапливались эти грунты.

**Ключевые слова:** газоносная структура; криогенная толща; суммарная льдистость; степень засоленности; минерализация поровой влаги; солёность морской воды

### Ice content and Pore Water Mineralisation of Cryogenic Strata in Gas-Bearing Structures at the Northern Jamal

Yu.B.Badu,

*Lomonosov Moscow State University, Department of Geography, Moscow, Russia*

E.E.Podborny

*Hydrological Research Centre, Company Limited, St. Petersburg, Russia*

### Abstract

The ice content of the grounds in the cryogenic sections of the gas-bearing structures (Northern Yamal) is connected with the conditions of accumulation and freezing of the sediments in Late Pleistocene. The value of the pore water mineralization, at which ice-segregation occurs in disperse grounds, has been determined.

**Key Words:** Gas-bearing structure; cryogenic strata; total ice content; degree of salinity; pore water mineralisation; sea water salinity

### Введение

Существуют определенные различия в величинах льдистости морских и лагунно-морских отложений, слагающих разрезы газоносных структур (ГС). Они возникают при формировании толщ мерзлых пород в соответствующих условиях осадконакопления. В субаквальной обстановке донный осадок накапливается и уплотняется, в ходе диагенеза связывается вода, идут химические реакции, преобразуется органическое вещество и коллоидные системы. В сложившейся породе поровое пространство занято морской водой с растворенными солями и газом. При охлаждении влажная грунтовая масса начинает промерзать, и миграция поровой влаги в ней приводит к возникновению и развитию ледяных шлиров. При этом минерализация порового раствора в прослоях тонкодисперсного грунта увеличивается, снижая точку температуры их замерзания.

В процессе формирования мерзлой толщи при накоплении морских, прибрежно-морских, эстуарно-дельтовых отложений [Баду 2011, 2012, 2013] поровая влага фиксируется в виде сегрегационного льда и льда-цемента, при этом её химический состав сохраняется практически неизменным.

### Основные представления

В эпикриогенной толще поровая влага замерзала в диагенетически преобразованных породах раннего и среднего плейстоцена, фиксируя несколько измененное содержание растворимых солей, т.к. некоторое их количество могло выпадать в осадок при промерзании в более суровых климатических условиях позднего плейстоцена.

Эти представления соответствуют положению Г.И.Дубикова [Дубиков Баду Иванова 1986] о том, что промерзанием в отложениях фиксируется химический состав грунтовой влаги и солёность воды морского бассейна, в котором накапливались эти отложения. Значения минерализации поровой влаги указывают на различия в фациальных обстановках седиментации осадков и их промерзания. Например, для верхней 10-15-метровой части разреза криогенной толщи Харасавэйского района было установлено [Ривкин Иванова Кузнецова 2007], что солевой состав поровых растворов соответствует составу морской воды и иловых вод современных морских осадков, а распределение солей по разрезу зависит от литологического состава пород, их фациальной принадлежности и криогенной дифференциации солей при промерзании, и глинистые

породы способны в наибольшей степени сохранять первичную седиментационную засоленность.

Ранее было показано [Баду 2013; Баду Подборный 2013], что позднеплейстоценовые отложения в разрезах ГС промерзали синхронно осадконакоплению в различных литолого-фациальных обстановках по мере выхода на мелководье, а затем и к дневной поверхности. Эти отложения составляют синкриогенную пачку мерзлого яруса криогенной толщи, в которой сегрегационное льдовыделение происходит в слабоуплотненных и водонасыщенных породах промерзающего деятельного слоя.

Подстилающие отложения казанцевской и салехардской свит (как и более древние) не выходят к дневной поверхности и относятся к эпикриогенной пачке мерзлого яруса криогенной толщи. В процессе промерзания сегрегационное льдовыделение происходило в разной степени обезвоженных и

уплотненных тонкодисперсных породах, где миграция влаги к фронту промерзания затруднялась из-за малой влажности грунта, близкой к нижнему пределу пластичности. Редкие ледяные шпирьы возникали только в диагенетических полостях и трещинах.

### Суммарная льдистость и минерализация поровой влаги тонкодисперсных отложений

Установлено [Баду Подборный 2013], что расчетная величина минерализации порового раствора заметно изменяется по генетическим комплексам отложений северного Ямала наряду с изменениями суммарной льдистости грунтов (табл.1, рис.1). Различия этих параметров для акваторий морского залива-лагуны и устьевой части эстуария Обской губы (рис.2, 3) четко фиксируются данными по льдистости.

Таблица 1. Суммарная льдистость и минерализация порового раствора тонкодисперсных пород криогенной толщи Южно-Тамбейской и Бованенковской газоносных структур

Генетические комплексы отложений	Средняя глубина отбора проб, м	Суммарная льдистость, д. ед.	Минерализация, г/л
<b>Южно-Тамбейская газоносная структура</b>			
Аллювиальные отложения пойм голоценового возраста <i>a IV</i>	4,4	0,59	13,3
Озерно-аллювиальные отложения голоценового возраста <i>la IV</i>	5,0	0,53	8,6
Лагунно-морские отложения сартанско-голоценового возраста <i>lm III-IV</i>	3,0	0,69	2,2
Лагунно-морские отложения каргинско-сартанского горизонта <i>lm III<sub>3,4</sub></i>	7,2	0,52	7,99
Лагунно-морские отложения зырянско-каргинского горизонта <i>lm III<sub>2,3</sub></i>	17,2	0,44	27,8
Морские отложения казанцевской свиты <i>m, pm III<sub>1</sub></i>	29,7	0,51	37,6
Ледово-морские отложения салехардской свиты <i>gm II<sub>2,4</sub></i>	96,0	0,33	57,3
Морские отложения казымской свиты <i>m I<sub>2-II<sub>1</sub></sub></i>	167,4	0,41	38,4
Ледово-морские отложения полуйской свиты <i>mg I<sub>1</sub></i>	265,5	0,39	76,1
Морские нерасчлененные меловые и палеогеновые отложения <i>m K<sub>2-P<sub>1</sub></sub></i>	368,0	0,36	68,8
<b>Бованенковская газоносная структура</b>			
Аллювиальные отложения пойм голоценового возраста <i>a IV</i>	6,7	0,50	11,7
Лагунно-морские отложения сартанско-голоценового возраста <i>lm III-IV</i>	6,5	0,51	5,2
Лагунно-морские отложения каргинско-сартанского горизонта <i>lm III<sub>3,4</sub></i>	5,6	0,55	4,0
Морские отложения зырянско-каргинского горизонта <i>m III<sub>2,3</sub></i>	20,9	0,43	16,6
Морские, прибрежно-морские отложения казанцевской свиты <i>m, pm III<sub>1</sub></i>	28,9	0,38	14,8
Ледово-морские отложения салехардской свиты <i>gm II<sub>2,4</sub></i>	107,2	0,20	40,7
Морские отложения казымской свиты <i>m I<sub>2-II<sub>1</sub></sub></i>	186,3	0,15	44,1
Ледово-морские отложения полуйской свиты <i>mg I<sub>1</sub></i>	270,5	0,11	36,4
Морские нерасчлененные меловые и палеогеновые отложения <i>m K<sub>2-P<sub>1</sub></sub></i>	361,8	0,14	35,4

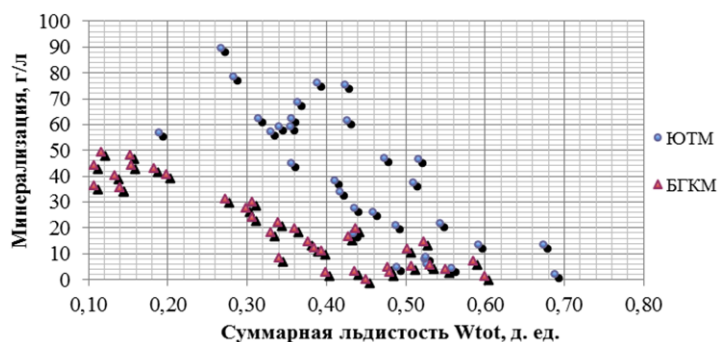


Рис.1. Минерализация и суммарная льдистость тонкодисперсных грунтов криогенной толщи Бованенковской и Южно-Тамбейской ГС

Примененный способ расчета [Клейменов Размышляев Плюцев 1998] позволяет определять, сколько растворимых солей было в той поровой влаге перед тем, как она вымерзла в виде ледяных шпирьов и в виде льда-цемента в порах минеральных прослоев. Весовое количество сухих солей в сухом грунте переводится в объемное содержание солей, растворенных в объеме поровой влаги в грунте на момент его полного замерзания и перехода в вечномерзлое состояние. При этом учитывается, что в промерзающий прослой глинистого грунта отжимаются растворенные соли и незамерзшая вода. Величина минерализации порового раствора может быть сравнимой с величиной солёности

морской воды, в которой накапливался осадок. В такой постановке расчет имеет смысл как для синкриогенной, так и для эпикриогенной пачек мерзлой толщи.

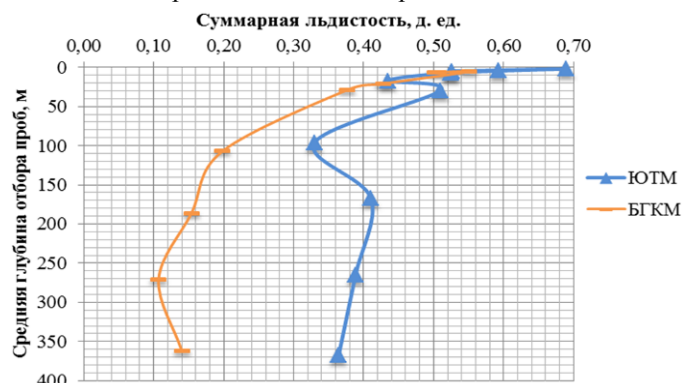


Рис. 2. Суммарная льдистость тонкодисперсных грунтов криогенной толщи Южно-Тамбейской и Бованенковской ГС

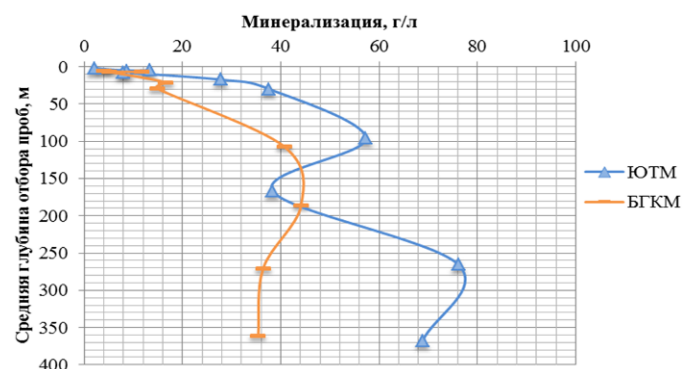


Рис. 3. Минерализация порового раствора тонкодисперсных грунтов криогенной толщи Южно-Тамбейской и Бованенковской ГС

Из данных, осредненных по более 1000 определениям, представленных в таблице и рисунках 2 и 3, следует, что:

- в отложениях полуйской и казымской свит, которые накапливались в морском бассейне раннеплейстоценовой трансгрессии, после их промерзания минерализация поровой влаги составляла над Бованенковской ГС 36,4-44,1 ‰, над Южнотамбейской 38,4-76,1 ‰;
- в тонкодисперсных отложениях салехардской свиты, которые накапливались в морском бассейне максимума среднеплейстоценовой трансгрессии (и по мере ее убывания), после их промерзания минерализация поровой влаги составляла над Бованенковской ГС 40,7 ‰, над Южнотамбейской ГС 57,3 ‰;
- в промерзших тонкодисперсных породах, которые накапливались в период казанцевской трансгрессии позднего плейстоцена, минерализация поровой влаги составляла над Бованенковской ГС до 14,8 ‰, над Южнотамбейской 37,6 ‰;
- в период накопления тонкодисперсных отложений позднеплейстоценовых III морской и лагунно-морской террас и их промерзания минерализация поровой

влаги составляла над Бованенковской 16,6 ‰, над Южнотамбейской до 27,8 ‰;

- в период накопления тонкодисперсных отложений позднеплейстоценовых II морской и лагунно-морской террас и их промерзания минерализация поровой влаги в них составляла над Бованенковской 4,0 ‰, над Южнотамбейской уменьшилась до 8 ‰;
- в период накопления позднеплейстоцен-голоценовых прибрежно-морских и аллювиальных отложений минерализация поровой влаги в промерзших породах не превышала над Бованенковской ГС 5-11,7 ‰, а над Южнотамбейской ГС 8,6-13,3 ‰.

Приведенные выше данные позволяют предполагать, что соленость морской воды, сравниваемая с минерализацией поровой влаги в отложениях открытого морского бассейна ранне- и среднеплейстоценового времени, была близка к современной, особенно в период его максимального распространения. Но в течение позднего плейстоцена она резко уменьшилась. Очевидно, что распреснение морской воды происходит в деятельном слое накапливавшейся синкриогенной пачки пород до тех пор, пока непротаявшая часть деятельного слоя не перейдет в многолетнемерзлое состояние. В протаявшем деятельном слое осадки накапливаются летом в опресненной морской воде, и поровый раствор до начала криогенных преобразований разбавляется еще и атмосферными и тальными водами весьма продолжительное время, сравнимое с продолжительностью накопления отложений.

## Выводы

Льдистость – основная криолитологическая характеристика мерзлой породы, и процесс ее формирования в синкриогенной толще отложений северного Ямала тесно связан с особенностями литолого-фациальных условий осадконакопления в морской среде. Эта связь усматривается в изменчивости минерализации поровой влаги, насыщавшей тонкодисперсный грунт перед промерзанием.

Несмотря на то, что при промерзании поровая влага перераспределяется на шлиры сегрегационного льда и лед-цемент минеральных прослоев, испытывая криогенные изменения ее концентрации и химического состава, в монолите опробованного образца грунта суммарная величина минерализации поровой влаги будет соответствовать солености морской воды, в которой накапливался этот грунт.

Общий характер изменения минерализации поровой влаги показывает, что криогенная толща северного Ямала формировалась в литолого-фациальных обстановках залива-лагуны (Бованенковский район) и эстуария Обской губы (Южнотамбейский район).

Синкриогенная пачка мерзлой толщи сложена глинистыми и пылеватыми отложениями позднего плейстоцена, которые при промерзании насыщались

морской водой, соленость которой заметно уменьшалась по мере обмеления акватории Карского моря.

Эпикриогенная пачка мерзлой толщи сложена тонкодисперсными отложениями раннего и среднего плейстоцена, которые до промерзания были пропитаны морской водой с соленостью, соизмеримой с соленостью воды современного карского моря.

Величина минерализации поровой влаги заметно изменяется в отложениях позднеплейстоценовых генетических комплексов, чем подчеркиваются различия в фациальных условиях осадконакопления и в степени проявления криогенного метаморфизма морской воды при ее замерзании в породах.

### Литература

- Баду Ю.Б. 2011. Криоаномалии в мерзлых толщах газоносных структур севера Западной Сибири //Сб. науч. тр. ООО “ТюменНИИгипрогаз”. – Тюмень, Издательство «Флат», 2011, с. 27–30.
- Баду Ю.Б. 2012. Криогенная толща газоносных структур севера Западной Сибири – взгляд из будущего // Десятая Межд. Конф. по мерзлотоведению (ТКСОР). Том 3. – Тюмень: Печатник, 2012, с.25–30.
- Баду Ю.Б. 2013. Региональная корреляция четвертичных отложений // Криосфера нефтегазоконденсатных

месторождений полуострова Ямал. В трех томах. Т.2. Криосфера Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения. – М.: ООО «Газпром экспо», 2013, с.122-146.

- Баду Ю.Б., Подборный Е.Е. 2013. Особенности криосферы Бованенковского НГКМ // Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал. В трех томах. Т.2. Криосфера Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения. – М.: ООО «Газпром экспо», 2013, с.391-411.
- Дубиков Г.И., Баду Ю.Б., Иванова Н.В. 1986. Состав и строение криогенной толщи на Западном Ямале. // Лабораторные и полевые исследования мерзлых грунтов и льдов. – М.: ПНИИИС, 1986, с.7-14.
- Клейменов В.Ф., Размышляев А.А., Плющев Д.В. 1998. Прогнозирование аварийных газопроявлений в скважинах, вскрывающих разрез многолетнемерзлых пород. // Геология, геохимия, геофизика и разработка нефти и газа. – М.: ВНИГНИ, 1998, С. 149 – 162.
- Ривкин Ф.М., Иванова Н.В., Кузнецова И.Л. 2007. Засоленные мерзлые грунты и криопэги полуострова Ямал и прибрежной зоны шельфа Карского моря //Проблемы строительства на засоленных грунтах. – М.: «Эпоха», 2007, с.34-43.



## Залежь внутригрунтового пластового льда на западном побережье Байдарацкой губы (Карское море)

Н.Г.Белова

*МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ геоэкологии Севера*

### Реферат

Представлены новые данные по строению и изотопному составу пластовых льдов на западном побережье Байдарацкой губы Карского моря. В отличие от смежных разрезов с мощными залежами пластовых льдов, относимых частью авторов к погребённым ледниковым льдам, изученная в 2012 году залежь имеет внутригрунтовую природу, что показывает сложность истории криогенеза и необходимость детального исследования комплекса пластовых льдов для точной реконструкции условий их формирования.

**Ключевые слова:** арктические низменности; Западная Сибирь; неоплейстоцен; палеогеография; пластовые льды; стабильные изотопы воды.

## Intrasedimental Massive Ice Bed at Western Coast of the Baydaratskaya Bay, Kara Sea

N.G.Belova

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, laboratory of geoecology of the North*

### Abstract

New data on the structure and isotopic composition of massive ice beds on the west coast of the Baydaratskaya Bay, Kara Sea, is presented. Unlike the adjacent sections with large deposits of massive ice, attributed by part of the authors to the buried glacial ice, the outcrop studied in 2012 has intrasedimental nature. It shows the complexity of the history of cryogenesis and the need for detailed study of the massive ice beds complex for the accurate reconstruction of the conditions of its formation.

**Key Words:** Arctic lowlands, massive ground ice, Neo-Pleistocene, paleogeography, stable water isotopes, West Siberia.

### Введение

К пластовым льдам относятся ледяные тела в форме пластов мощностью более 1 м [Маскау 1971, Лейбман 2000 и др.]. Большинство исследователей признают различные механизмы его формирования как в неодинаковых геологических условиях, так и в одном разрезе [French & Harry 1990, Лейбман 2000, Романенко 2001, Fritz 2011, Васильчук 2012 и др.]. Одни и те же залежи интерпретируются разными авторами как первичноповерхностные, либо как изначально внутригрунтовые. Особенно важно верное определение генезиса пластовых залежей в таком спорном с точки зрения палеогеографии неоплейстоцена районе, как Западная Сибирь.

### Район исследований

Западное побережье Байдарацкой губы в геокриологическом отношении относится к Байдарацко-Юрибейской области Западной Сибири [Геокриология СССР 1989]. Пластовые льды здесь вскрываются в береговых уступах на двух участках к востоку и западу от устья р. Оюяхи, протяженностью порядка 1-1,5 км каждый. Судя по термоциркам в стабильных береговых уступах, пластовые льды встречаются в отложениях на протяжении по крайней мере 11 км вдоль побережья. Впервые описанные Т.В. Амплеевой в 1990 году [Коняхин и др. 1991], льды были отнесены разными исследователями

либо к внутригрунтовым, либо к погребённым ледниковым и снежниковым льдам [Коняхин и др. 1991, Васильчук 2012, Соломатин 2013, Белова 2014]. Нами были выделены две группы пластовых льдов: 1) мощные (>3 м) «верхние» залежи погребённого базального ледникового льда; 2) небольшие «нижние» залежи (<3 м). Предполагалось, что «нижние» залежи могли сформироваться как внутри грунта, так и при погребении небольших первичноповерхностных ледяных тел [Белова 2014]. В сообщении представлены новые данные о внутригрунтовых «нижних» льдах этого района на основе детального полевого описания и анализа образцов из обнажения пластового льда, обнаруженного в 2012 году в 3 км к востоку от устья р. Оюяхи (рис. 1).

### Материалы и методы

По изученному в 2012 году обнажению пластового льда было проведено описание условий залегания, строения льда (в том числе структуры и текстуры), отобраны образцы на водно-изотопный анализ. Ранее на западном побережье Байдарацкой губы полевой материал собирался автором в 2005-2007 гг. В районе устья р. Оюяхи было обследовано 30 км берега между о. Торасовэй и о. Левдиев. Отложения изучались в расчистках, вдоль берегового уступа прослеживались контакты осадочных тел. Был проанализирован изотопный и химический состав льдов, химический состав



водной вытяжки из вмещающих льды отложений, в полевых условиях в поляризованном свете охарактеризована кристаллическая структура льда, получены радиоуглеродные датировки из вмещающих пластовые льды отложений; определен состав пыльцы и спор во льду. Результаты этих исследований подробно изложены в работе [Белова 2014].



Рис. 1. Внутригрунтовый пластовый лёд в 3 км к востоку от устья р. Оюяха

## Результаты и обсуждение

### Состав и строение отложений, вмещающих пластовые льды

В районе устья р. Оюяхи вдоль берега Байдарацкой губы простирается увалистая равнина высотой 25-45 м. В прибрежной полосе она снижена до 15-20 м многочисленными термокарстовыми котловинами (хасыряями). В основании многих разрезов лежит глинистая толща с обломочным материалом, которую Ф.А. Романенко с соавторами [Романенко и др. 2007] соотносят с «карским диамиктоном» В.Н. Гатаулина [1992]. Её неровная кровля, часто уходящая под урез моря, со стратиграфическим несогласием перекрывается сложно построенной песчаной толщей мощностью до 28 м, вмещающей пластовые льды. Из толщи получено четыре датировки от 22,5 до 49,6 тыс.  $^{14}\text{C}$  л.н. [Белова 2014].

Гранулометрический состав осадков, чередование гравийно-песчаных и суглинистых прослоев, состав диатомовых водорослей и спорово-пыльцевые спектры, а также результаты химического анализа водной вытяжки, указывают на формирование толщи в условиях перигляциальной озерно-аллювиальной равнины [Романенко и др. 2001, 2007].

### Условия залегания пластовых льдов и криолитологическое строение вмещающих отложений

Пластовые льды приурочены к самым высоким, наименее изменённым термокарстом участкам поверхности. Зафиксированная мощность пластов – до 6-7 м, протяженность – до 100 м. Они вскрываются на абсолютных высотах 0-15 м, вероятно, спускаясь ниже уровня моря.

На основе различий в мощности, строении и изотопном составе льда залежи были разделены на две группы. Более мощные «верхние» пластовые льды залегают на высотах 9-15 м, «нижние» – от 0 до 9 м, иногда встречаясь на высотах до 13,5 м (описанная в данном сообщении залежь, рис. 1). В большей части разрезов встречается лёд одной из групп; в одном обнажении отмечены оба типа залежей. «Верхние» льды имеют несогласный с вмещающими отложениями верхний контакт и подстилаются мерзлой толщей с ледогрунтовыми жилами; у «нижних» льдов несогласий не отмечается.

В 2012 году пластовый лёд мощностью до 2,2 м вскрылся в верхней части берегового уступа высотой 15 м в толще слоистых песчаных отложений, содержащих отдельные прослои суглинков (см. рис. 1). Лёд вскрывается в интервале глубин 1,5-7 м (видимая), пласт имеет круто наклонное залегание, при этом залегают согласно вмещающим отложениям – верхний контакт льда согласный, перекрывающие пласт пески не секут слоистость в самом льду.

### Строение льда

Строение пластовых залежей описывалось в терминах фаций льда, применяемых при изучении базального ледникового льда [Hubbard 2009]. Под фацией льда понимается составная часть ледяного тела, литологические или структурные характеристики которой позволяют отделить её от остальных составных частей массива льда [Hubbard 2009]. Хотя термин относится ко всем характеристикам льда, на практике фации льда выделяются по их внешним признакам, преимущественно по расположению и концентрации грунтовых включений, а также, в меньшей степени, по концентрации и/или размеру воздушных пузырьков [Hubbard 2009]. В изученных в районе пластовых льдах выделены три основные фации льда: слоистый, пузырчатый и стекловидный лёд.

«Верхние» пластовые льды сложены преимущественно фацией слоистого льда, которая по строению схожа со слоистыми фациями базального льда современных ледников [Murton et al. 2005 и др.]. Именно в этих пластах зафиксированы складчатые и сдвиговые деформации льда. «Нижние» льды представлены двумя подгруппами – слоистых и стекловидных льдов. Преобладают слоистые залежи, причем слоистость во льду повторяет изгибы кровли пласта. У подножья берегового уступа встречены залежи, целиком сложенные чистым стекловидным льдом.

Пластовый лёд описываемого обнажения характеризуется слоистостью за счёт грунтовых прослоев и смен фаций льда. Слоистость в целом параллельна направлению простирания пласта. Встречаются две основные фации льда: 1) лёд мутный за счёт грунтовых включений, с песчаными прослойками и взвесями (преимущественно мелко-тонкозернистый песок, а также пылеватые частицы), мелкокристаллический (рисунок 2г, 2д); 2) лёд прозрачный, пузырчатый, с меньшим содержанием грунтовых включений и удлинёнными воздушными пузырьками, ориентированными перпендикулярно основ-

ной слоистости и местами отходящими от грунтовых прослоев во льду (рисунок 2 а-в); медианный диаметр кристаллов 0,5-1 см.

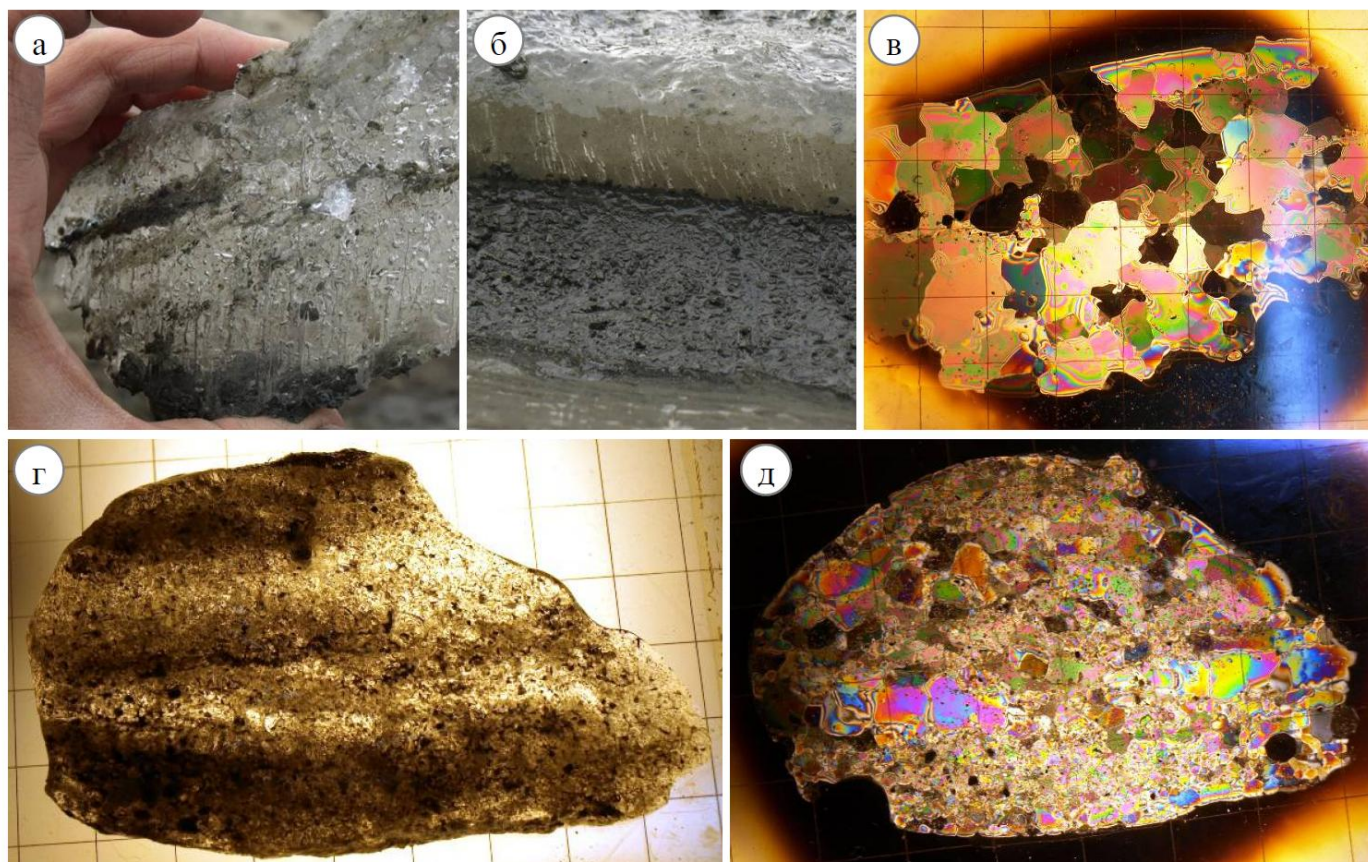


Рис. 2. Строение льда. Верхний ряд: преимущественно прозрачный лёд с удлинёнными воздушными пузырьками в дневном (а, б) и поляризованном (в) свете. Нижний ряд: слоистый лёд в дневном (г) и поляризованном (д) свете

### Изотопный состав льда

По результатам анализа образцов 2006-2007 гг., значения  $\delta^{18}\text{O}$  в двух обнажениях «верхних» пластовых льдов составили в среднем  $-18,8\text{‰}$  и  $-18,3\text{‰}$  (по 10 и 34 образцам соответственно), а в двух обнажениях «нижних» льдов  $-21,7\text{‰}$  и  $-21,5\text{‰}$  (по 9 и 6 образцам). Лёд «верхних» пластов изотопически тяжелее по сравнению с «нижними» льдами – в среднем на  $3,2\text{‰}$  по кислороду и  $23\text{‰}$  по дейтерию. Разброс значений  $\delta^{18}\text{O}$  велик, обычны колебания состава одной залежи в пределах  $5\text{-}6\text{‰}$  (подробнее см. [Белова 2014]).

В изученной в 2012 году залежи «нижнего» льда разброс значений составил от  $-15,2\text{‰}$  до  $-20,4\text{‰}$  (в среднем  $-17,2\text{‰}$ ) по  $\delta^{18}\text{O}$  и от  $-114,9\text{‰}$  до  $-157,4\text{‰}$  (в среднем  $-131,9\text{‰}$ ) по  $\delta\text{D}$ . Значительной связи между изменениями  $\delta^{18}\text{O}$  и дейтериевым эксцессом не обнаружено.

По строению льда и изотопному составу выделяется верхняя часть пласта с постепенно утяжеляющимся изотопным составом, и нижняя, изотопически более легкая, характеризующаяся удлиненными воздушными пузырьками (рис. 3). В поперечном створе 2 (см. рис. 3) значения  $\delta^{18}\text{O}$  изменяются постепенно, что свидетель-

ствует о фракционировании при промерзании воды. Скачкообразное изменение изотопного состав объясняется, вероятно, тем, что отдельные прослои формировались в различные циклы промерзания.

### Обсуждение и выводы

Характерными чертами описанного обнажения являются: 1) согласное залегание во вмещающих отложениях, прежде всего согласный незрозионный верхний контакт льда; 2) строение залежи: слоистость во льду в целом параллельна кровле пласта, складчатые и разрывные деформации отсутствуют; многочисленны удлиненные, расположенные перпендикулярно слоистости воздушные пузырьки, отходящие от грунтовых прослоев во льду; 3) изотопный состав льда с наличием чёткого вертикального тренда в отдельных ледяных прослоях.

Указанные черты свидетельствуют о внутригрунтовом механизме образования льда. В случае погребения столь наклонно расположенного ледяного тела его верхний контакт неизбежно был бы срезан водным потоком. Столбчатые же воздушные пузырьки могли сформироваться при внутригрунтовом промерзании и указывают направление фронта промерзания.



Наличие внутригрунтовых пластовых льдов в разрезах, смежных с погребёнными льдами [Соломатин 2013, Белова 2014], говорит о разнообразии механизмов и

условий формирования пластовых льдов даже в одном районе залегания.

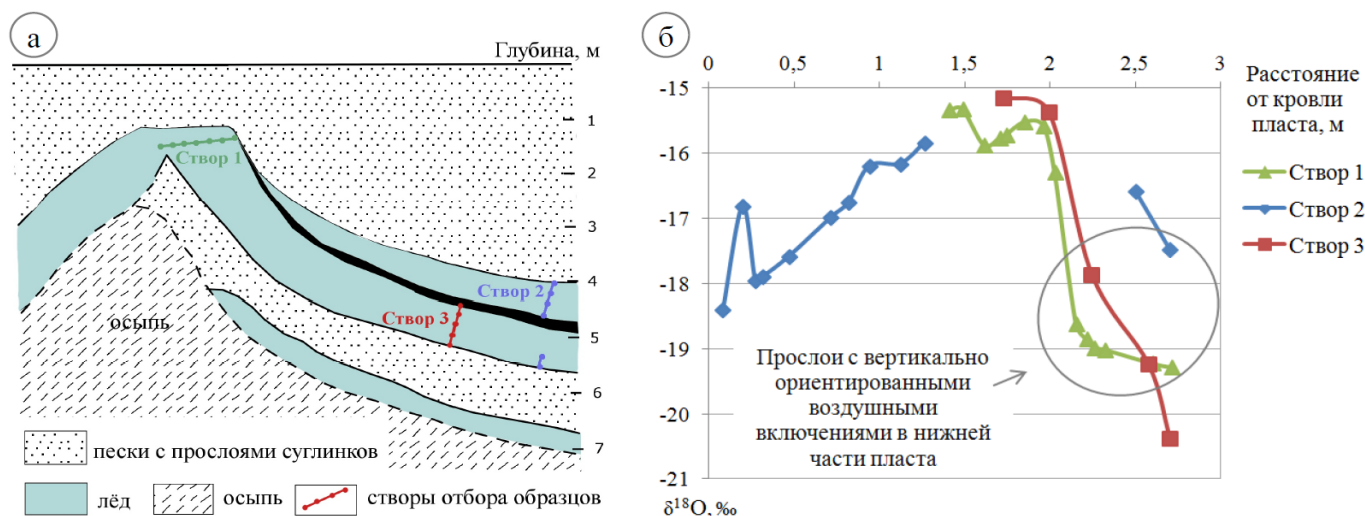


Рис. 3. Изотопный состав льда: а) схема отбора образцов; б) изменение величины  $\delta^{18}\text{O}$  (‰ vs. SMOW) в поперечных профилях

## Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС) Арктического и антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) за проведение изотопного анализа образцов.

## Литература

- Белова Н.Г. 2014. Пластовые льды юго-западного побережья Карского моря. – М.: МАКС-Пресс, 180 с.
- Васильчук Ю.К. 2012. Изотопные методы в географии. Часть 2: Геохимия стабильных изотопов пластовых льдов. – М.: Изд-во Моск. ун-та. Том 1, 472 с.
- Гатауллин В.Н. 1992. Пластовые льды западного побережья полуострова Ямал: строение, состав и происхождение // Материалы гляциологических исследований. Вып. 75. С. 50–57.
- Геокриология СССР. Западная Сибирь. 1989 / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 454 с.
- Коняхин М.А., Амплеева Т.В., Николаев В.И. 1991. Находка пластовых льдов в позднеплейстоценовых отложениях уральского побережья Байдаракской губы // Материалы гляциологических исследований. Вып. 72. С. 227–228.
- Лейбман М.О., Васильев А.А., Рогов В.В., Ингольфссон О. 2000. Исследование пластового льда Югорского полуострова кристаллографическими методами // Криосфера Земли. Т. IV. №2. С. 31–40.
- Романенко Ф.А., Белова Н.Г., Николаев В.И., Олюнина О.С. 2007. Особенности строения рыхлых отложений Югорского побережья Байдаракской губы Карского моря // Фундаментальные проблемы квартара: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V

Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. – М.: ГЕОС. С. 348–351.

- Романенко Ф.А., Воскресенский К.С., Тарасов П.Е., Андреев А.А., Николаев В.И., Сулержицкий Л.Д. 2001. Особенности формирования рельефа и рыхлых отложений западного Ямала и побережья Байдаракской губы (Карское море) // Проблемы общей и прикладной геоэкологии Севера. – М.: Изд-во МГУ. С. 41–68.
- Соломатин В.И. 2013. Физика и география подземного оледенения: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 021000 "География" – Новосибирск: Академическое изд-во "Гео", 346 с.
- French H.M., Harry D.G. 1990. Observations on buried glacier ice and massive segregated ice, western Arctic coast, Canada // Permafrost and Periglac. Process. V. 1. P. 31–43.
- Fritz M., Wetterich S., Meyer H., Schirmer L., Lantuit H., Pollard W.H. 2011. Origin and Characteristics of Massive Ground Ice on Herschel Island (Western Canadian Arctic) as revealed by Stable Water Isotope and Hydrochemical Signatures // Permafrost and Periglac. Process. V. 22. P. 26–38.
- Hubbard B., Cook S., Coulson H. 2009. Basal ice facies: a review and unifying approach // Quaternary Science Reviews. V. 28. P. 1956–1969.
- Mackay J.R. 1971. The origin of massive icy beds in permafrost, western Arctic, Canada // Can. J. Earth Sci. V. 8. P. 397–422.
- Murton J.B., Whiteman C.A., Waller R.I., Pollard W.H., Clark I.D., Dallimore S.R. 2005. Basal ice facies and supraglacial melt-out till of the Laurentide Ice Sheet, Tuktoyaktuk Coastlands, western Arctic Canada // Quaternary Science Reviews. V. 24. P. 681–708.

## Изменение климата как фактор воздействия на криолитозону севера Западной Сибири

В.А.Бешенцев

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Криолитозона севера Западной Сибири исключительно чувствительна к техногенному воздействию. Изучение факторов этого воздействия позволяет решать проблемы минимизации отрицательного воздействия на криолитозону и ее охраны.

**Ключевые слова:** атмосфера; геокриология; климат; криолитозона; мерзлота; температура.

## Climate Change as a Factor of Influence on the Permafrost of the North of Western Siberia

V.A.Beshentsev

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Permafrost in northern of West Siberia is extremely sensitive to technogenic impact. The study of that impact can solve problems of minimizing the negative impact on permafrost and its protection.

**Key Words:** atmosphere; geocryology; climate; permafrost; permafrost; temperature.

### Введение

Вечная мерзлота – это один из наиболее чувствительных и «капризных» компонентов природы Севера. В последние десятилетия все большую актуальность приобретает проблема глобального изменения климатических условий. О глобальном потеплении и его катастрофических последствиях для всех государств и регионов говорят уже более 25 лет.

На Международной конференции по проблеме антропогенного изменения климата, прошедшей в 1988 г. в Торонто, впервые обсуждение этой проблемы было поднято на высокий уровень. Учеными тогда был сделан вывод, что последствия усиления парникового эффекта уступают лишь последствиям мировой ядерной войны. При ООН была создана Межправительственная группа экспертов по проблемам изменения климата, которая всесторонне занялась этими вопросами. По их мнению, потепление ожидается более сильным в высоких широтах. Станет намного теплее зима и более засушливым лето в умеренных широтах Северного полушария. При этом, как отметили исследователи, основная причина глобального потепления – антропогенно обусловленное усиление так называемого парникового эффекта. В 2013 году Межправительственная группа экспертов по изменению климата уточнила эту оценку: «Антропогенное воздействие отмечено в потеплении атмосферы и океана, в изменении глобального водного цикла, в уменьшении снежного покрова и льда, в росте среднего уровня моря, а также в изменении числа экстремальных погодных явлений. После Четвертого оценочного доклада получены дополнительные доказательства

антропогенного воздействия. Очень вероятно (95-100%), что человеческая деятельность является основной причиной наблюдающегося потепления, начиная с середины XX столетия».

### Обсуждение проблемы

Все 1990-е годы прошли под знаком темы глобального потепления, вылившейся в борьбу с выбросами углекислого газа. В декабре 1997 г. в Киото (Япония) на международной конференции по проблемам климата были выработаны согласованные планы сокращения выбросов парниковых газов, а также принят специальный документ – Киотский протокол, который поставил задачу – к 2020 г. сократить всем странам выбросы парниковых газов на 20% [*Корытный 2011*]. В 2004 году этот протокол был ратифицирован Государственной думой РФ, в 2005 г. подписан президентом.

В последние десятилетия развернулось обсуждение возможных сценариев глобальных и региональных климатических изменений в XXI веке. При прогнозировании возможных изменений климата используются три основных подхода:

- использование моделей общей циркуляции атмосферы при увеличении в ней содержания CO<sub>2</sub> и других парниковых газов;
- рассмотрение палеоклиматических аналогов;
- эмпирический анализ современных вариаций метеорологических характеристик (анализ циклов и трендов) [*Ершов 2008*].

Основным, конечно же, берется первый подход. Разброс прогнозных значений содержания эквивалента CO<sub>2</sub> в атмосфере в XXI веке чрезвычайно широк. В

настоящее время атмосфера содержит на 25% больше углекислого газа, чем его было накоплено за последние 160 тыс. лет [Корытный 2011]. Большинство исследователей, работающих с моделями общей циркуляции, предполагают удвоение концентрации углекислого газа к концу данного века. Причиной этого по их мнению является антропогенное воздействие, связанное с сжиганием органического топлива, в результате чего в атмосферу ежегодно выбрасывается более 5 млрд. тонн диоксида углерода. На основании этого строятся прогнозы изменения средней глобальной температуры воздуха. Предстоящие изменения глобального климата оцениваются неоднозначно:

- значительное потепление [Бурдыго и др. 1992];
- умеренное потепление [Борисенко 1990, Павлов 2001];
- похолодание [Шполянская 1981, Шполянская 2001].

Тем не менее, в настоящее время происходит повышение среднегодовой температуры воздуха и во многих регионах криолитозоны отмечается тенденция повышения температуры многолетнемерзлых пород и их деградация. По мнению ряда ученых средняя температура на планете выросла за последние 100 лет примерно на 0,6°C, причем этот процесс наиболее активно происходит в последние годы. По прогнозам к 2025 г. повышение температуры может составить 2,5...3,0°C, а к концу столетия – более 5°C [Корытный 2011].

Если же говорить о криолитозоне Западной Сибири, то очевидным здесь является значительный «техногенный» пресс. За прошедшие более полувека из недр Западной Сибири добыто свыше 10 млрд. тонн нефти и 11 триллионов кубометров газа. Пробурены сотни тысяч поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, построены десятки новых городов, сотни нефтепромысловых поселков.

Очень важной проблемой техногенного воздействия на экосистему криолитозоны является эмиссия парниковых газов в атмосферу, связанная с добычей углеводородов. Ежегодно в атмосферу выбрасывается до 560 млн. тон метана. Доля использованного газа по России находится в пределах 50%. Основная часть утечки газов при их транспортировке происходит в результате высокой аварийности на трубопроводах и ее слабой прогнозируемости. Одной из причин повышенной аварийности трубопроводов являются криогенные процессы.

Значительное техногенное воздействие на экосистему криолитозоны в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона оказывает сжигание попутного газа на факелах и выбросы продуктов сжигания в атмосферу. Ежегодный объем выбросов газа в атмосферу и его сжигание на факелах в регионе находится в пределах 4 млрд. куб. метров, что составляет около 44,5% от добычи попутного газа. Утилизация его составляет 55,5% [Бешенцев 2014, Бешенцев и Семенова 2014].

Одним из важнейших последствий техногенного воздействия является деградация вечноммерзлых грунтов,

которая изменяет условия работы сооружений в криолитозоне, запроектированных без учета глобального потепления климата. Дело в том, что прочностные и деформационные свойства вечноммерзлых грунтов, являющихся основаниями инженерных сооружений, в значительной мере зависят от температуры. С повышением температуры первые уменьшаются, а вторые возрастают, что приводит к деформациям зданий и сооружений, а также развитию посткриогенных процессов. Результаты расчетов, проведенные на кафедре геокриологии МГУ [Хрусталева и др. 2008], показали, что к концу прогнозного периода (2100 г) практически все здания, построенные до 2001 года, будут деформированы в результате глобального потепления климата.

## Заключение

В условиях расширяющихся масштабов освоения нефтегазовых месторождений, расположенных в криолитозоне севера Западной Сибири, все большее значение приобретает умение предвидеть динамику мерзлотно-геоэкологических изменений территории в условиях интенсивной техногенной нагрузки. В криолитозоне ландшафты обладают пониженной устойчивостью к внешним воздействиям, поскольку в их литогенной основе содержится лед – самый низкотемпературный и поэтому термодинамически неустойчивый, предрасположенный к фазовым превращениям в верхних горизонтах земной коры [Соломатин и другие 2012].

Малейшие изменения температурного режима многолетнемерзлых пород (как результат естественного эволюционного изменения температурного поля земли, так и результат техногенного воздействия) приводят к изменению ресурсной, геодинамической и геохимической функций литосферы. Это приводит к существенным преобразованиям экологических свойств криолитосферы. Деградация мерзлоты приобретает уже геологические масштабы [Радченко и др. 2009], в значительной степени нарушены естественный ход процессов массопереноса вещества и энергии как в недрах Западной Сибири, так и на поверхности.

## Литература

- Бешенцев В.А. 2014. Экологическая геокриология (техногенное воздействие на экосистему криолитозоны) // Горные ведомости. № 8 – Тюмень: ОАО «СибНАЦ», 2014. – С. 72 – 78.
- Бешенцев В.А., Семенова Т.В. 2014. Техногенное воздействие нефтегазового комплекса на криолитозону севера Западной Сибири // Материалы Девятой Международной научно-технической конференции «Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна». – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – С. 170 – 173.
- Борисенков Е.П. 1990. Изменение климата и человек. – М.: Знание. – 1990. – с. 60.
- Бурдыго М.И., Израэль Ю.А., Яншин А.Л. 1992. Глобальное потепление и его последствия // Метеорология и гидрология. №2. 1992 – С. 5 – 10.

- Ершов Э.Д. 2008. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне. Основы геокриологии. Ч.6. – М.: Изд-во МГУ, 2008. – 768 с.
- Корытный Л.М. 2011. Эхо эколого-экономических скандалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 324 с.
- Радченко А.В., Мартынов О.С., Матусевич В.М. 2009. Динамически напряженные зоны литосферы – активные каналы энерго-массопереноса. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. – 240 С.
- Павлов А.В. 2001. Реакция криолитозоны на современные и ожидаемые в XXI веке климатические изменения // Разведка и охрана недр. №5. 2001. – С. 8 – 14.
- Соломатин В.И., Коняхин М.А. 2012. Прогноз геоэкологических изменений территории месторождения «Бованенково» (п-ов Ямал) // Доклады Академии наук. том 446. №2. – М: 2012, С. 209 – 211.
- Хрусталева Л.Н., Клименко В.В. и др. 2008. Динамика температурного поля многолетнемерзлых пород южных районов криолитозоны при различных сценариях климатических изменений // Криосфера земли. Том XII. 2008. – С. 3 – 11.
- Шполянская Н.А. 1981. Мерзлая зона литосферы Западной Сибири и тенденция ее развития. – М: изд-во МГУ, 1981. – 168 с.
- Шполянская Н.А. 2001. Климатические ритмы и динамика криолитозоны (анализ эволюции в прошлом и прогноз изменения в будущем) // Криосфера Земли. Том V. 2001. – С. 3 – 14.



## Динамика растительного покрова крупнобугристого торфяного болота зоны массивно-островной мерзлоты на севере Западной Сибири

Т.А.Бляхарчук

*ИМКЭС СО РАН, пр. Академический 10/3, Томск 634055;*

*Томский государственный университет, пр. Ленина 36, Томск 634050*

М.Г.Магур

*СибНИИСХиТ, ул. Гагарина 3, Томск 634050*

О.Е.Пономарева

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

Н.Г.Москаленко, А.Г.Гравис, Н.М.Бердников

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Детальный ботанический анализ торфяной колонки мёрзлого крупнобугристого болота в пойме р. Надым на севере Западной Сибири выявил динамику растительного покрова болота за последние 7000 лет, в которой отразился как эндогенетический ход развития болотного массива, так и климатические изменения в регионе. Установлено 5 стадий развития болота: от зарастающего пойменного водоёма к евтрофному топяному болоту, мезо-олиготрофному топяному болоту, олиготрофному грядово-мочажинному комплексу и, в заключение, к мёрзлому крупнобугристому болоту. Формирование постоянной мерзлоты на болоте произошло при похолодании в начале суббореального периода около 4500 лет назад. В целом изученный торфяник оказался очень чувствительным к изменениям климата на каждой стадии его развития

**Ключевые слова:** болото; растительный покров; климат; мерзлота; торф.

### Dynamics of Vegetation at Frozen Hillocky Peat Bog at the Zone of Massive Insular Permafrost in the North of West Siberia

T.A.Blyakharchuk

*IMCES SB RAS, Academicheskii ave 10/3, Tomsk 634055*

*Tomsk state university, Lenina 36, Tomsk 634050*

M.G.Magur

*Siberian Scientific research Institute of agriculture and peat (SibNIISHiT), Gagarina 3, Tomsk 634050*

O.E.Ponomareva

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

N.G.Moskalenko, A.G.Gravis, N.M.Berdnikov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

### Abstract

Detailed macrofossil analysis of peat section from bulging frozen mire in floodplain of Nadym River in the north of West Siberia revealed dynamic of the vegetation cover of mire during last 7000 years, triggered both by endogenic mire process and by climatic change. Five stages were detected in the development of mire beginning from overgrowing water pool to wet eutrophic mire, to wet methooligotrophic mire, to ridge-hollow complex mire and, finally, to bulging frozen mire. Freezing of mire took place at the end of Subboreal time that was about 4500 years ago. In general an investigation revealed that the studied mire was very sensitive to climatic change during each stage of development.

**Key words:** mire, vegetation cover, climate, permafrost, peat.

### Вступление, объекты и методы исследования

Для изучения долговременной динамики климата и ландшафтов зоны массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) на севере Западной Сибири [Комплексный мониторинг... 2012] была отобрана торфяная колонка. Образцы отбирались при

бурении скважины (рис.1.) и расчистки (рис.2.), расположенной на мерзлом торфяном бугре пучения в пойме р. Хейги-Яха у уступа II-ой надпойменной террасы р. Надым (65°18'56" с.ш., 72°52'27"). Мощность торфа составила 640 см. Отбор образцов осуществлялся с разрешением 2-3 см. Определение макроостатков растений проводилось под световым микроскопом с увеличением 200 раз, с предварительной промывкой



торфа от гумуса и окраской остатков метиленовой синью. Для определения макроостатков растений использовались определители [Кац и др. 1977; Абрамова и др. 1961] и коллекция постоянных препаратов из тканей известных болотных растений.



Рис.1. Бурение скважины для отбора торфяной колонки на вершине бугра мерзлотного пучения.



Рис.2. Отбор образцов из расчистки естественного обнажения мёрзлого торфяного бугра

Содержание различных макроостатков в торфе оценивалось визуально в процентах от общего обилия всех остатков. Результаты представлены на рис.1. Экологическая интерпретация результатов ботанического анализа торфа проведена с использованием публикаций [Мульдьяров 1990; Лапина 2003].

Для изучаемого торфяного разреза было получено 6 радиоуглеродных датировок в радиоуглеродной лаборатории г. Новосибирска под руководством Л.А.Орловой. Кроме того, для данного торфяного разреза был выполнен спорово-пыльцевой анализ и анализ степени гумификации торфа по методике АКРОТЕЛЬМ [Chambers et al. 2011]. Прделанная работа позволила реконструировать динамику растительного покрова болота за весь период торфонакопления, продолжавшийся, согласно нижней радиоуглеродной

дате последние 7000 лет. Самая верхняя радиоуглеродная дата с глубины 80 см. от поверхности торфяника оказалась довольно древней – 3450±65 лет. Под слоем торфа (ниже 640 см) залегают озёрные отложения.

### Результаты и их обсуждение.

Полученные данные демонстрируют картину эндогенетического развития болотного массива, возникшего в результате заболачивания пойменного озера и отражают 5 стадий этого процесса (рис.3).

В течение первых 4-х стадий, примерно до 4450 лет назад, болото находилось в талом состоянии, а в 5-ой стадии оно перешло в состояние мёрзлого бугристого болота. Рассмотрим более подробно последовательные стадии развития болота за весь период его существования.

1. Первая стадия представляла собой обмелевший пойменный водоём зарастающий аэрогидрофитными видами растений. В торфяных отложениях она просматривается на глубине 640-600 см пластом торфа сложенного остатками рогаза и прибрежно-водных растений. В этой стадии болото находилось в конце 8-го тысячелетия назад.

2. Около 7000 лет назад болото перешло в евтрофную стадию развития, продолжавшуюся около 550 лет - до 6450 лет назад. В торфяной толще эта стадия прослеживается на глубине 600-480 см слоями вначале гипнового, затем пушицевого и далее хвощево-осокового торфа. На глубине 510 см последнее болототравное растительное сообщество сменилось чисто сфагновым сообществом из евтрофного гидрофитного сфагнума *Sphagnum teres* (Schimp) Aongstr.ex Hartm., который в конце евтрофной стадии развития болота сменяется мезотрофным гидрофитным видом *Sphagnum riparium* Aongst. Для этой стадии развития торфяника характерна высокая степень гумификации торфа. Ярko выражены в этой стадии поверхности раздела между различными слоями торфа, что вероятно является отражением климатической нестабильности, влиявшей на изменение обводнённости болота.

3. Примерно 6450 лет назад, вследствие накопления 160 см торфа, болото перешло в мезотрофно-олиготрофную стадию развития. Однако, оно по-прежнему оставалось талым и сильно обводнённым. В мезо-олиготрофной топяной стадии болото существовало до 5350 лет назад, то есть около 1100 лет. Торфяные отложения этой стадии прослеживаются на глубине 450-300 см. Они сложены торфами топяных видов сфагновых мхов мезо-олиготрофной экологии. В нижней части толщи залегают слой торфа образованный мезотрофным гидрофитным сфагнумом *Sphagnum riparium*, выше него лежит довольно мощный слой торфа образованный *Sphagnum angustifolium* (Russ. Ex Russ.) C.Jens., который уже является олиготрофным гидрофитом, еще выше залегают слой торфа образованный *Sphagnum jensenii* Lindb., видом произрастающим в транзитных топях и в мочажинах верховых (олиготрофных) грядово-мочажинных болот. В конце мезотрофно-олиготрофной стадии всё больше распространяются на болоте

пушицевые сообщества и болотные кустарнички. Возможно, это указывает на начальное формирование возвышенных форм микрорельефа пушицевыми кочками и грядами, в которых торфа имели повышенную степень разложения.

4. Около 5350 лет назад болото перешло в стадию верхового (олиготрофного) грядово-мочажинного комплекса, которая продолжалась примерно до 4450 лет назад, то есть около 900 лет. Торфяные отложения этой стадии залегают на глубине 300-180 см. Они представляют собой чередование слоев пушицевого,

сфагнового и гипнового торфов. Контрастная экология растений торфообразователей, формирующих самостоятельные слои и слоёчки торфа, по нашему мнению, свидетельствует о грядово-мочажинной структуре поверхности болота, в которой сочетались переувлажнённые мочажины, покрытые ковром гидрофитного сфагнома *Sphagnum balticum* (Russ.) Russ. Ex C.Jens. и гряды с пушицево-кустарничковым покровом и гипновым мхом *Straminergon stramineum* Dicks. Ex Rid.

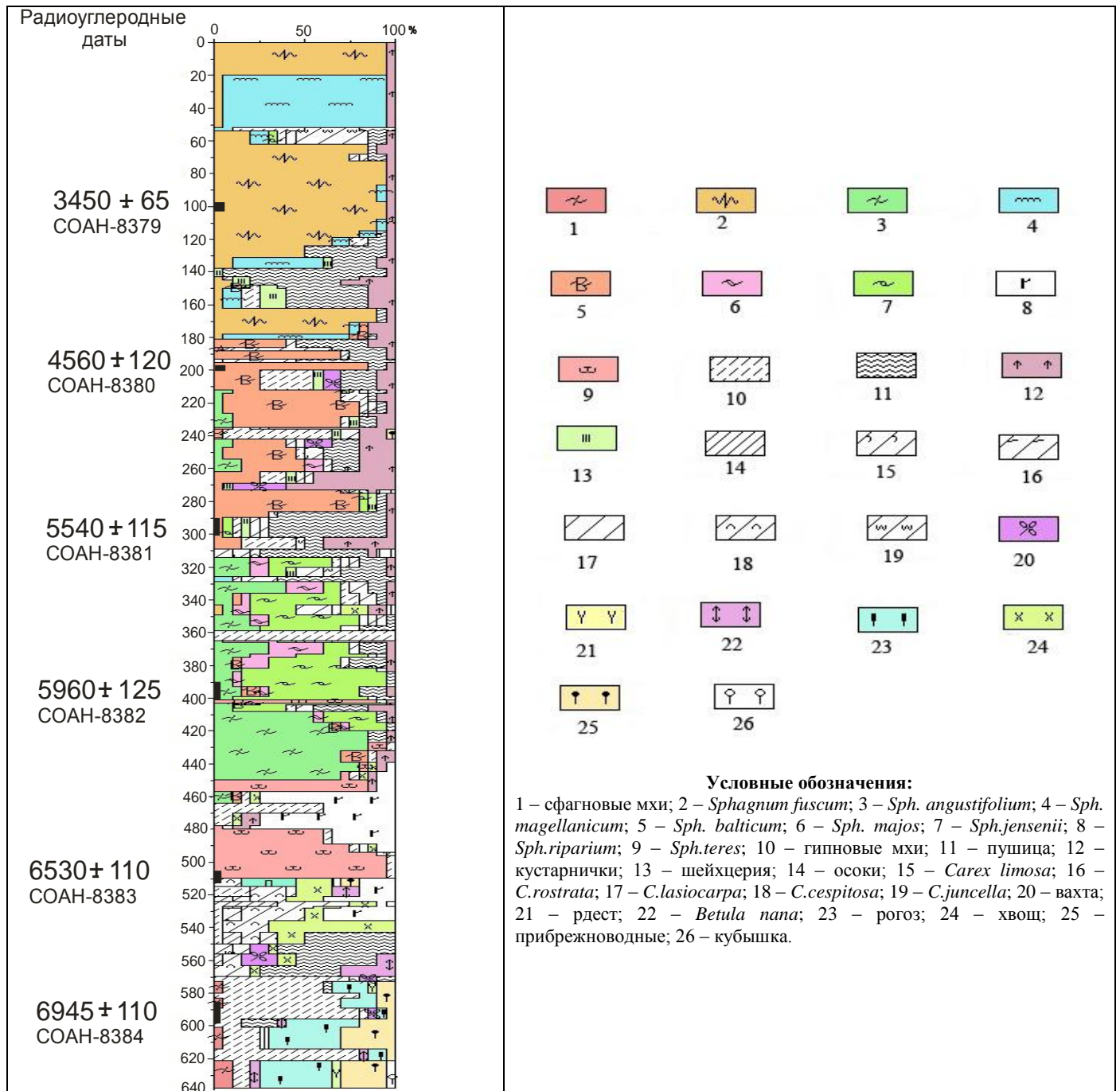


Рис.3. Результаты ботанического анализа торфа керна взятого из мёрзлого крупнобугристого торфяника, расположенного около г. Надым (север Западной Сибири).

5. На глубине 180 см в торфяной залежи произошла резкая смена торфов топяных болотных сообществ со *Sph. balticum* на торфа более ксерофитных сфагновых сообществ с доминированием *Sphagnum fuscum* (Schimp.) Klinggr. Последние растительные сообщества в настоящее время доминируют в растительном покрове мёрзлых бугров средней высоты. Эта, практически катастрофическая, смена в фитоценозах произошла около 4450 лет назад, согласно имеющимся радиоуглеродным датам, в результате, как мы полагаем, промерзания и вспучивания ранее плоского талого болота. Сначала высота бугра была небольшая и в более влажные периоды климата на нём распространялись пушица и даже шейхцерия, что указывает на формирование переувлажнённого понижения среди сфагнового покрова из *Sph. fuscum*. В дальнейшем, по мере накопления торфа и сегрегационного льда в толще торфяника, поверхность бугра приподнялась и экологические условия мезорельефа стали более устойчиво ксерофитными. В результате, во второй половине 4-го тысячелетия назад отложился слой чистого фускум-торфа с параллельной слоистостью.

На глубине 52-54 см в сфагновом торфе отмечена прослойка осокового торфа, образованного *Carex juncella* (Fries) Th. Fries в комплексе с остатками пушицы, кустарничков и сфагнов *Sph. jensenii* и *Sph. magellanicum* Brid. Возможно, что данная прослойка торфа является отражением термокарста, проявившегося на мёрзлом торфяном бугре в середине 3-го тысячелетия назад. Позднее это термокарстовое понижение вновь промерзло, и на его поверхности сформировалось сфагновое сообщество сначала из *Sph. magellanicum*, а затем из *Sph. fuscum*.

### Заключение

Таким образом, детальный ботанический анализ торфа из мёрзлого крупнобугристого болота, расположенного на севере Западной Сибири в зоне распространения массивно-островной мерзлоты в грунтах, выявил пять эндогенетических стадий в развитии болота, видоизменённых под действием колебаний климата: от зарастающего водоёма (7,2-7 т. л. н.), к евтрофному топяному болоту (7-6,5 т.л.н.), к мезо-олиготрофному топяному болоту (6,5-5,4 т.л.н.), к олиготрофному грядово-мочажинному комплексу (5,4-4,5 т.л.н.) и, наконец, к мёрзлому крупно-бугристому болоту (последние 4,5 т.л.). В отличие от более южных болотных зон, изученное болото раньше перешло в олиготрофную стадию, а формирование грядово-мочажинного комплекса на нём способствовало быстрому, почти катастрофическому образованию мёрзлых бугров во

время похолодания климата в начале суббореального периода 4,5 тысяч лет назад. Промерзание ранее талого топяного болота, насыщенного влагой, вызвало заметные криотурбации этих слоёв торфа. Напротив, вышележащие сфагновые торфа гряды и бугра имеют ровную параллельную слоистость. В целом изучаемый торфяник оказался очень чувствительным к изменениям климата, реагируя на них резкой сменой растительных сообществ, резкими колебаниями степени гумификации торфа, промерзанием и криотурбациями.

### Благодарности

Данная работа выполнена авторами при финансовой поддержке: интеграционного проекта «Криогенные ресурсы Арктики и Субарктики: состояние и структура криолитозоны, физико-химическое моделирование и биологический потенциал криогенных систем»; проекта РФФИ-13-05-00811А; а также в рамках гранта по Постановлению Правительства Российской Федерации № 220 от 09 апреля 2010 г. по договору с Министерством образования и науки Российской Федерации № 14.В25.31.0001 от 24 июня 2013 г. (BIO-GEO-CLIM).

### Литература

- Абрамова А.Л., Савич-Любичкая Л.И. и Смирнова З.Н. 1961. Определитель листостебельных мхов Арктики СССР. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1961. - 714 с.
- Кац Н.Я., Кац С.В. и Скобеева Е.И. 1977. Атлас растительных остатков в торфах. – М.: Недра, 1977. – 371 с.
- Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири / отв. редактор В.П.Мельников; Рос. Акад. Наук, Сиб. Отделение, Институт криосферы Земли. – Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2012. – 207с.
- Лапшина Е.Д. 2003. Флора болот юго-востока Западной Сибири. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2003. -296 с.
- Мульдьяров Е.Я. 1990. Определитель листостебельных мхов Томской области. / Под ред. Ю.А.Львова. – Томск: Изд-во Томского Ун-та, 1990. - 207 с.
- Chambers F.M., Beilman D.W. & Z.Yu. 2011. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostructure studies of climate and peatland carbon dynamic // Mires and Peat. V.7 (2010/11), Article 07, pp.1-10, <http://www.mires-and-peat.net/>, ISSN 1819-754X
- Murton, J.B. & French, H.M. 1994. Cryostructures in permafrost, Tuktoyaktuk coastlands, western Arctic Canada. Canadian Journal of Earth Sciences 31: 737-747.



## Четвертичное оледенение в истории Западной Сибири

Р.А.Бобков

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Являясь неотъемлемой частью криолитозоны, ледники оказывают существенное влияние на облик нашей планеты, воздействуя как на климат, так и на характер рельефа. Наибольшее развитие ледников приходится на эпохи похолодания климата, или криохроны, самый недавний из которых на территории Западной Сибири носит название Сарганского, и, казалось бы, должен быть неплохо изучен, однако мнения ведущих исследователей зачастую расходятся, а иногда и вовсе резко противоречат друг другу. Прежде всего, разногласия касаются факта о существовании покровного оледенения в пределах Западно-Сибирской равнины, индикатором которого, якобы, служат Сибирские Увалы. Приписывая этой возвышенности роль конечной морены, многие руководствуются лишь ее схожестью в геоморфологическом плане, не обращая внимания на тектонику и геологию. Данные, полученные в последние два года работы на этом объекте, доказывают, что Сибирские Увалы не являются мореной позднплейстоценового ледника, а имеют лишь тектоническое происхождение.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь; оледенение; Сибирские Увалы; палеогеография; четвертичный период

## Quaternary Glaciation in the History of Western Siberia

R.A.Bobkov

*Institute of Earth's Cryosphere, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Russian Federation*

### Abstract

As an inherent part of cryolithosphere, Glaciers significantly affect to our planet which might have affected on both the climate and relief. The main stages of the glaciers' development refer to glacial periods, called cryochrons. It would seem, the last glacial period, which is called in Western Siberia the Sartan cryochron, must be sufficiently well explored, but the views of leading researchers often differ, and sometimes even drastically contradict each other. First of all, differences relate to the existence of glaciation within the West Siberian Plain, which allegedly indicated by Siberian ridges. Attributing to that role of the terminal moraine, many researchers are guided only its similarity in geomorphology, not paying attention to the tectonic and geology. The data obtained over the two last years of research prove that the Siberian ridges are not late Pleistocene moraine of the glacier, and have a tectonic origin.

**Key Words:** Glaciation; Western Siberia; paleogeography; Siberian ridges; quaternary period

### Введение

Гипотеза материковых оледенений зародилась в Западной Европе в начале XX века после того, как немецкими учеными [Penck & Brückner 1909] было доказано, что изучаемые ими террасы альпийских речных долин аккумулировались в ледниковые эпохи. Со временем эта гипотеза получила широкое распространение и в Центральной России, а после аналоги ей были придуманы для территории Западной Сибири. Многие годы такой подход считался классическим, чему, возможно, поспособствовал В.А.Обручев [1930], высказав идею о центрах древнего оледенения на севере Западной Сибири. Однако, начиная с середины XX века, эту идею начинают оспаривать некоторые ученые [Сирин 1947, Лазуков 1965], хотя оставшееся большинство [Боч 1957, Земцов Шацкий 1959] все же верят в существование древнего ледника. Главной причиной таких заблуждений являются Сибирские Увалы – относительно невысокая (в районах полевых работ абсолютные отметки редко превышают 120 м) возвышенность, расположенная чуть севернее субширотного течения Оби. Помимо схожести Увалов с

мореной своей формой, они также имеют существенную особенность – это присутствие в разрезе гряды валунно-галечного материала, который способен переносить не только непосредственно ледник, но и айсберги, отделившиеся от тела ледника. О таком способе переноса эрратического материала свидетельствует заметка Ч. Дарвина [1939]. Во время наблюдения за плавучими льдами в южной Атлантике он, увидев льдину, переносившую каменную глыбу около 4 м в поперечнике, написал: «Если таким образом из тысяч или десятков тысяч айсбергов только один переносит валун, то дно южного полярного моря и берега его островов должны мало-помалу оказаться усеянными множеством чужеродных валунов, соответствующих эрратическим валунам северного полушария». Такая дрифтовая гипотеза может быть перенесена и в Западную Сибирь при том факте, что здесь имела место трансгрессия в сарганское время.

### Полевые исследования

Районы полевых работ (рис.1) были выбраны неслучайно. Они оказались относительно доступны для исследований, и, главное, имели превосходные разрезы,

вскрытые реками, что существенно облегчило физические затраты и сильно сэкономило время. Основная работа была проделана на террасе левого берега р. Вах, где полностью был зачищен разрез и взяты образцы из каждого слоя для последующих лабораторных анализов. Разрез (табл.1) с относительной высотой 30 метров представлен в большей своей части средними косослоистыми песками – типичными аллювиальными отложениями. Особого внимания здесь заслуживают два факта: вкрапление крупнообломочного материала в толще общей мощностью 2,5 метра и наличие слоя палеопочвы мощностью 1 метр.

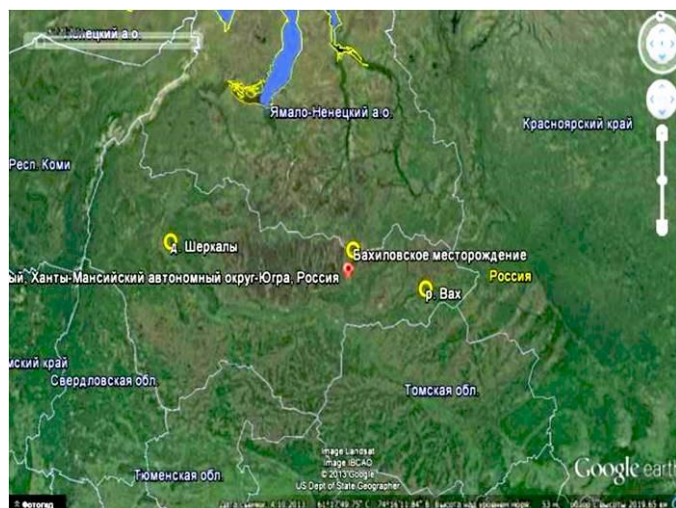


Рис. 1. Ключевые участки полевых работ

Эрратический материал (рис.2) был отправлен на анализ в Томский университет, и профессором В.П.Парначевым (*устное сообщение*) был определен базис сноса. Весь материал с разреза террасы р. Вах был принесен со Среднесибирского плоскогорья и гор Бырранга и имеет базальтовый состав. Материал же с западной части Увалов, найденный в обнажениях правого берега реки Обь, представлен интрузивными породами гранитного ряда, принесенными с Уральских гор. Примечателен тот факт, что весь валунно-галечный материал в составе толщи Сибирских Увалов имеет изначально ледниковое происхождение, поскольку отличается слабой окатанностью, часто имеет ледниковые шрамы и царапины и абсолютно не характерен для данной территории. Однако внешний вид обломков показывает, что впоследствии каменный материал был интенсивно перемыт и долгое время находился в водной среде, чему свидетельствует тонкая коррозионная корка толщиной 1 – 2 мм поверхности валунов и галек. Более высокое современное гипсометрическое положение валунов (абсолютные отметки около 110 м) может быть объяснено последующими тектоническими движениями [Сирин 1947].

Еще один веский аргумент в пользу гипотезы о невозможности покровного оледенения – это наличие в составе отложений горизонта палеопочвы. Материал почв хорошо датируется радиоуглеродным методом, его возраст составляет около 40 тыс. лет (СО АН 7551, СО

АН 7552). Это подтверждает тот факт, что тектоническое поднятие Увалов произошло в позднем плейстоцене [Шейнкман Седов 2014]. По данным профессора С.Н.Седова (*устное сообщение*) данный педокомплекс относится к генетическому типу холодных гидроморфных почв, генезис которых зачастую приурочен к субаквальным условиям осадконакопления. Учитывая тот факт, что основная часть толщи представлена аллювиальным песком и имеет в составе отложений комплекса полепочв (рис.3), закономерен вывод, что никакие ледники в формировании Сибирских Увалов участвовать не могли.



Рис. 2. Валуны, вкрапленные в тело 30-м террасы в верховьях р. Вах



Рис.3. Палеопочва в основании 30-м террасы в долине р. Вах в восточной части Сибирских Увалов

Таблица 1. Описание литологического состава разреза террасы реки Вах

№	Горизонт	Мощность, м	Интервал глубин, м	Описание	Дата отбора образцов	Глубина отбора, м	Магнитная восприимчивость, ед. СИ * 0,001
1	I (O)	0,03	0-0,03	Лесная подстилка. Полуразложившаяся хвоя сосен. Цвет черный от пожара двухлетней давности. Много корней, идущих горизонтально. Переход резкий, граница ровная	14.08.2014		
	II (E)	0,05-0,49	0,03-0,08(0,57)	Песок белый средний рыхлый. Меньшее количество корней в нижней части. Переход четкий. Граница неровная, языковатая	14.08.2014	0,2	0,08
	III (Bh)	0-0,3		Песок средний. Повторяет границы вышележащего слоя, имеет кофейный цвет. Под языками мощность наибольшая. Иногда прерывается	14.08.2014		
	IV (Bf)	0,47	0,08-0,55	Песок средний бурый. Переход неясный. Граница волнистая, местами мелко-языковатая. Мелкие марганцевые стяжения	14.08.2014	0,4	0,08
	V (Bc)	0,37-0,65	0,55-0,92(1,20)	Песок средний слоистый. Окраска неравномерная от светло-серого до буроватого. Отдельные слои бурого цвета. Повсеместно встречаются железомарганцевые стяжения. Единичные корни. Белые пятна, оконтуренные каймой кофейного цвета	14.08.2014	0,75	0,08
	VI (C)	1,73	0,92-2,65	Песок средний слоистый однородный	14.08.2014	1,1 2,1	0,08 0,08
2	VII	0,90	2,65-3,55	Глина серая с тонкими линзами и прослоями ожелезненного среднезернистого песка. Через каждые 20 см - слой песка толщиной до 3см. Песок разделяет толщу на 4 слоя глин. С каждого слоя глин взяты образцы, а также один образец из песка между глиной 3 и 4.	14.08.2014		
				VII. 1		2,75	0,21
				VII. 2		2,95	0,18
				VII. 3		3,1	0,1
				VII. 3-4		3,2	0,07
VII. 4	3,35	0,14					
3	VIII	1,00	3,55-4,55	Глина пылевато-сизая с прослоем палеопочвы. Редкие следы ожелезнений. Тонкий прослой палеопочвы (4,05) загнут криотурбацией	15.08.2014	3,75 4,35	0,17 0,12
4	IX	0,70	4,55-5,25	Песок серый средний слоистый	15.08.2014	4,95	0,13
5	X	0,90	5,25-6,15	Песок мелкий с галькой и валунами. Переслаивание сизого и рыжего песка. Размер гальки 5-10 см, слабоокатана	15.08.2014	5,9	0,34
6	XI	0,25	6,15-6,40	Песок серый средний с гравием, редко галькой	15.08.2014	6,25	0,08
7	XII	0,30	6,40-6,70	Песок гравелистый рыжий с включениями мелкой гальки	15.08.2014	6,6	0,81
8	XIII	1,00	6,70-7,70	Песок серый крупный слоистый с включениями мелкой гальки и железистыми пятнами	16.08.2014	7	0,54
9	XIV	0,05	7,70-7,75	Песок крупный темно-серый с гравием	16.08.2014		
10	XV	1,25	7,75-9,00	Глина серая с тонкими слоями песка и суглинка. Многочисленные следы ожелезнений	16.08.2014	8,2	0,12
						8,65	0,2
11	XVI	5,00	9,00-14,00	Песок серый мелкий с субгоризонтальной слоистостью	16.08.2014	10	0,05
						12	0,09
						13,2	0,09
12	XVII	0,40	14,00-14,40	Глина серая однородная неслоистая	16.08.2014	14,1	0,11
13	XVIII	0,80	14,40-15,20	Песок серый средний слабослоистый. Следы ожелезнений. В нижней части (около 2 см) песок сильно ожелезнен, имеет ярко-бурый цвет	16.08.2014	14,9	0,1
14	XIX	1,50	15,20-16,70	Глина серая со следами ожелезнений	16.08.2014	15,6 16,3	0,15 0,1
15	XX	1,00	16,70-17,70	Педокомплекс. (15см - Bg) Чередование бурых, серых и сизых линз пылеватых суглинков с петельчатой конфигурацией. Нижняя граница резкая. (1-3см - 2T) Черный торф. (Остальное - AG) Темный сизо-серый суглинок оторфованный с растительным детритом и мелкими фрагментами древесины	16.08.2014	16,8	0,07
						17,1	0,09
						17,5	0,11
16	XXI	2,00	17,70-19,70	Глина темно-серая неслоистая	17.08.2014	18,7	0,15
17	XXII	0,75	19,70-20,45	Песок от мелкого до крупнозернистого с редкими включениями гальки, косослоистый. Переслаивание серых и рыжих слоев	17.08.2014	20	0,07
18	XXIII	10,25	20,45-30,70 (урез воды)	Песок серый мелкий слоистый	17.08.2014	22,4	0,08

## Заключение

В настоящее время мнения о формате событий в позднем плейстоцене разные: от закладывания в

палеогеографическую модель присутствия покровного ледника до абсолютного отрицания такового. В любом случае изучение и понимание древних обстановок сейчас крайне актуально, поскольку в соответствии со знаниями

о закономерности изменения климата в квартере можно делать соответствующие выводы, давать прогнозы и строить модели климатических обстановок в настоящем и будущем. Анализ проделанной работы позволяет говорить, что на протяжении всего верхнего плейстоцена оледенение, как на равнинных территориях, так и в горных областях не было покровным, но в самые суровые периоды в приустьевой части трогов могли формироваться ледяные поля ледников. Что касается Сибирских Увалов, которые раньше нередко принимались за морену материкового ледника, покрывавшего север Западной Сибири, детальное их обследование ясно продемонстрировало, что это сложно построенная система Обских террас. Основная их часть была сформирована в результате субширотного неотектонического поднятия блока земной коры на правобережье Средней Оби в конце позднего плейстоцена.

### Литература

Боч С.Г. Четвертичные отложения северо-западной части Западно-Сибирской низменности и вопросы их

корреляции (краткий обзор). Тр. межвед. совет, по стратиграф. Сибири. Гостоптехиздат, 1957.

Дарвин Ч. Заметка о валуне, который видели на айсберге под 61 градусом южной широты / Сочинения. Т.2. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1939, С. 565-566.

Земцов А.А., Шацкий С.Б. К вопросу о геоморфологическом районировании северо-восточной части Западно-Сибирской низменности. В сб.: Ледниковый период на территории европейской части СССР и Сибири. – М.: МГУ, 1959.

Лазуков Г.И. О связи между четвертичными оледенениями и трансгрессиями на севере Евразии. // Тр. Ин-та геол. Арктики, 1965, т. 143.

Обручев В.А. Оледенение Северной Азии // Природа, № 5, 1930, С. 455-472.

Сирин Н.А. О следах двух оледенений на Приполярном Урале. // «Бюл. КИЧП», 1947, № 10.

Шейнкман В.С., Седов С.Н. Сибирские Увалы – ключ к пониманию событий позднего плейстоцена в Западной Сибири // Лед и снег, 2014.

Penck A., Brückner E. Die Alpen im Eiszeitalter. 1909. Bd. Т. 1–3. Lpz. 1199 p.



## Пространственное варьирование свойств криогенных почв и их взаимосвязь с мощностью сезонно-талого слоя (CALM R1, Надым, Западная Сибирь)

А.А.Бобрик, О.Ю.Гончарова, Г.В.Матышак  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
ф-т почвоведения, Москва

### Реферат

Изучено пространственное варьирование и взаимосвязь мощности сезонно-талого слоя и свойств почв мониторинговой площадки CALM (100 x 100 м). Площадка заложена на основной поверхности плоскобугристого торфяника и заболоченном участке. В августе 2014 г. определены мощность СТС, влажность поверхности почв, эмиссия углекислого газа, а также описаны почвенный, растительный покров и микрорельеф. Все изученные параметры характеризуются высокими коэффициентами вариации, что выражается в высокой сложности почвенного и растительного покровов, мозаичным сочетанием элементов микрорельефа.

**Ключевые слова:** плоскобугристый торфяник; пространственная неоднородность; островная мерзлота

## Spatial Variability of Permafrost-Affected Soil Properties and Their Relationship with Active Layer Thickness (Russia, Nadym, CALM site R1)

A.A.Bobrik, O.Yu.Goncharova, G.V.Matyshak  
Lomonosov Moscow State University, Soil Science Department, Moscow, Russia

### Abstract

We investigated the spatial variability and the relationship of active layer thickness and some soil properties of CALM R1 grid (100 x 100 m). Grid was located on frozen peatland and bog. For each point of CALM some parameters were measured in August 2014: the active layer thickness, soil volumetric moisture, relief characteristics, soil and vegetation type, efflux of carbon dioxide. All parameters were characterized by high spatial variability (high variation coefficient). That was manifested in high complexity of soil and vegetation cover at fine scale.

**Key Words:** peatland; spatial heterogeneity; sporadic permafrost

### Объекты и методы

Целью данной работы является оценка пространственного варьирования и взаимосвязи геоэкологических условий и свойств почв плоскобугристых торфяников в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород (на примере мониторинговой площадки CALM R1).

На территории РФ находятся 64 мониторинговые площадки, 13 из них – в Западной Сибири. Мониторинговая площадка CALM R1 представляет собой уникальный объект исследования, так как является самой южной в Западной Сибири и расположена в зоне островного распространения ММП. Изучение временной изменчивости мощности сезонно-талого слоя, температурных параметров, растительности и микрорельефа в рамках проекта CALM на Надымском стационаре (R1) проводится с 1997 г.

Район исследования расположен на севере Западной Сибири (Надымский район, Тюменская область, ЯНАО; 65°20' С, 72°55' В) в пределах северной границы распространения северной тайги, в краевой части III-ей озерно-аллювиальной равнины р. Надым, на междуречье Хейгияха — Левая Хетта [Москаленко 2012]. Район

исследований относится к зоне островного распространения многолетнемерзлых пород. Они имеют прерывистое распространение, отсутствуя с поверхности под островами лесных урочищ и болотами, и приурочены к торфяникам, буграм и грядам пучения.

Объектом исследования является типичный участок плоскобугристого торфяника, представляющий собой плоскую и слабо наклонную крупнокочковатую основную поверхность, приподнятую над общим уровнем болотных экосистем, а также заболоченные пониженные участки.

Основным подходом является исследование всех исследуемых показателей по пикетам, расположенным по регулярной сетке мониторинговой площадки CALM R1 размером 100x100м. На площадке по сетке через каждые 10 м заложены пикеты (всего 121 точка опробования) для длительных наблюдений за различными геоэкологическими параметрами.

В августе 2014 г. для всех точек мониторинговой площадки CALM R1, проведено описание форм микрорельефа, почвенного и растительного покрова. Проведены разовые измерения объемной влажности в верхнем 15-см слое почвы с помощью влагомера Spectrum TDR 100 в трехкратной повторности для

каждого пикета. Проведены мониторинговые измерения такого важного параметра функционирования почв, как эмиссия углекислого газа (август 2013, 2014 гг.) камерным методом. Измерение максимальной мощности СТС на мониторинговых площадках CALM традиционно проводится в конце августа – начале сентября [Мельников и др., 2005].

## Результаты и обсуждения

Более 60% пикетов мониторинговой площадки расположено на основной поверхности торфяника, остальные 40% - на заболоченном участке.

Рельеф торфяника представлен локальными комплексами форм микрорельефа: ровные основные поверхности (27,5% пикетов), микроповышения в виде кочек (45% пикетов) и микропонижения в виде крупных мочажин (27,5% пикетов). Заболоченные участки представлены ровной поверхностью и микроповышениями в виде болотных кочек.

При небольшой площади исследуемой площадки, на ней выделены четыре почвенные разности: торфяно-глеезем, торфяно-криозем, глеезем криотурбированный, торфяная олиготрофная типичная [Классификация почв... 2004]. Наибольшее распространение на плоскобугристом торфянике имеют торфяно-криозем и торфяно-глеезем (37% и 21% пикетов соответственно). Торфяная олиготрофная типичная почва приурочена к заболоченным участкам.

Показатель объемной влажности почвы характеризуется высокой пространственной вариабельностью (коэффициент вариации составляет 35,9%). Значение объемной влажности почвы мониторинговой площадки меняется в широких пределах от 8,5 до 66,1%, при этом среднее составляет 42,2±2,5%. Около 60% пикетов характеризуются влажностью более 50%. По данным регрессионного анализа среди всех изученных факторов наиболее значимая взаимосвязь влажности почвы установлена с типом микрорельефа ( $\beta = 0,310$ ;  $p\text{-level} < 0,05$ ) и типом растительности ( $\beta = 0,528$ ;  $p\text{-level} < 0,05$ ).

Наиболее влажными на плоскобугристом торфянике являются микропонижения, в которых средние значения объемной влажности почвы составляют около 45%. Самыми сухими являются микроповышения (35,5%), что хорошо объясняется их приподнятостью и хорошей продуваемостью. Ровная поверхность торфяника характеризуется промежуточным средним значением влажности около 40%.

Выявлена взаимосвязь влажности почвы с типом растительности. Для заболоченных территорий с большей влажностью почвы характерны сфагновые сообщества. Для плоскобугристого торфяника с меньшими значениями влажности почвы характерны в основном ягелевые сообщества.

Установлено, что мощность сезонно-талого слоя (СТС) почв мониторинговой площадки CALM варьирует от 0,55 до 2 м и более, в среднем составляет 1,66 ± 0,08 м. При этом для 35,5% пикетов характерна мощность СТС менее

1,5 м, а 56,2% пикетов характеризуются мощностью СТС более 2 м, в основном они приурочены к заболоченным участкам и микропонижениям торфяника. Только 11% пикетов характеризуются малой мощностью СТС до 1 м. Коэффициент вариации мощности СТС составляет 27,0%.

Среднее значение мощности СТС под ягелевыми сообществами составило 1,56 м, а под сфагновыми – 1,68 м. Мощность СТС более 2 м характерна в основном для пикетов под сфагновым сообществом с осокой. В целом не выявлена статистически достоверная связь мощности СТС и растительности.

За 2-летний период наблюдений установлено, что эмиссия CO<sub>2</sub> площадки CALM характеризуется высокой пространственной и временной вариабельностью. Эмиссия CO<sub>2</sub> варьировала от 10 до 500 мгCO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>\*ч) и составила в среднем 160 ± 20 (Август, 2013) и 120 ± 17 мгCO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>\*ч) (Август, 2014) (коэффициент вариации 56,0% и 70,0% соответственно). При этом заболоченные участки характеризуются постоянным средним значением эмиссии CO<sub>2</sub> (151 ± 32 мгCO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>\*ч)), следовательно, вклад в вариабельность потоков углекислого газа вносят только почвы торфяника. При анализе взаимосвязи потоков углекислого газа с типом растительности установлено, что наибольшим средним значением эмиссии CO<sub>2</sub> (174 ± 30 мгCO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>\*ч)) характеризуется заболоченный участок с осоково-сфагновым покровом, а наименьшим средним значением (105 ± 25 мгCO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>\*ч)) – заболоченный участок со сфагновым покровом.

Не выявлено значимой взаимосвязи эмиссии углекислого газа с мощностью СТС, что объясняется сложным характером их взаимодействия. Геоэкологические параметры косвенно влияют на потоки парниковых газов через формирования гидротермического режима почв, типа растительных сообществ и особенностей микрорельефа.

Характерной особенностью исследованного участка плоскобугристого торфяника является то, что величина СТС характеризуется широким варьированием и отсутствием связи практически со всеми изученными показателями. Возможно, это связано с высокой контрастностью геоэкологической ситуации на данном участке, а также высокой динамичностью величины СТС в сравнении с другими исследованными параметрами. Измеренная один раз в конце августа она характеризует состояние торфяника на данный конкретный момент времени, в отличие от таких показателей как, например, мощность торфа или тип растительного покрова, формирующихся десятки и сотни лет. Возможно, для уточнения зависимостей необходимо сравнение изученных параметров со средней величиной СТС на данном торфянике за несколько лет, а также исследование других участков бугристых торфяников с меньшей средней мощностью СТС. Таким образом, на исследуемой территории в гидроморфных условиях криогенные процессы детерминируют формирование ландшафтов, образуя широко распространенные здесь бугристые торфяники и являются альтернативой физико-географическому расчленению [Матышак, 2009]. На

типичных участках плоскобугристых торфяников мы наблюдаем высокую контрастность почвенного и растительного покровов, обусловленную сочетанием ряда факторов, среди которых основное место занимает рельеф.

### Благодарности

Авторы благодарят д-ра геогр. наук Н.Г. Москаленко, канд. геол.-мин. наук О.Е. Пономареву за предоставленные данные и содействие в проведении экспедиционных работ на Надымском стационаре.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 13-04-01557-а).

### Список литературы

Классификация и диагностика почв России. 2004. / Под ред. Л.Л. Шишова, В.Д. Тонконогова, И.И.

Лебедевой, М.И. Герасимовой. – Смоленск, Ойкумена, 2004. – 342 с.

Матышак Г.В. 2009. Особенности формирования почв севера Западной Сибири в условиях криогенеза: Дисс. ... канд. биол. наук. – М., 2009. - 151 с.

Мельников Е.С., Васильев А.А., Лейбман М.О., Москаленко Н.Г. 2005. Динамика сезонного слоя в Западной Сибири. // Криосфера Земли, 2005, №2, с. 23-32.

Москаленко Н.Г. 2012. Изменение криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза. // Криосфера Земли, 2012, т.16, №2, с. 38-42.



## Возможное образование льда XI в пористых средах в земных условиях

Г.С.Бордонский

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
672014, Чита, Недорезова 16-а, а/я 521, lgc255@mail.ru*

### Реферат

Выполнено исследование возможности образования сегнетоэлектрического льда XI в пористой природной среде. Обнаружен температурный гистерезис низкочастотных шумов в увлажненном нанопористом силикате SBA-15, имеющем упорядоченную систему пор. Это указывает на появление в них сегнетоэлектрической фракции при температурах ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Обсуждается возможная химическая активность сегнетоэлектрической фазы в нанопористой среде на поверхности холодных космических тел и в земных условиях.

**Ключевые слова:** лед XI; нанопористые среды; электрические шумы.

## Possible Formation of Ice XI in Porous Medium under Earth's Conditions

G.S.Bordonskiy

*Institute of Natural resources, Ecology and Cryology SB RAS*

### Abstract

The possibility of the ferroelectric ice XI formation at the porous natural medium was studied. The temperature hysteresis of low frequency noise in wet nanoporous silicates SBA-15 with ordered nanoporous system was founded. This phenomenon indicates the appearance of ferroelectric phase in the porous medium. The possible chemical activity of ferroelectric phase on the surface of cold cosmic bodies and at Earth's conditions was discussed.

**Key Words:** electric noise; ice XI; nanoporous media.

При невысоких давлениях и температурах 50-273 К возможно существование трех кристаллических модификаций водного льда: Ih, Ic, XI [Chaplin]. Такие условия существуют на поверхности холодных планет, комет, астероидов. Если рассматривать земные условия, то для них широко распространен гексагональный лед Ih. Кубический лед Ic до недавнего времени считался экзотическим льдом. В настоящее время показано, что он образуется в полярной атмосфере. Лед XI гексагональный, но в отличие от льда Ih он обладает более упорядоченной структурой протонов. Его особенность – возникновение сегнетоэлектрического состояния.

Лед XI получен в лаборатории при температурах 50-70 К при легировании льда Ih калием. Последующие эксперименты показали возможность его существования и при более высоких температурах до  $\sim 170$  К. Кроме того, в [Fukazawa et al. 1998] был осуществлен поиск льда XI в земных условиях в Антарктиде. Предполагалось, что лед XI образуется из льда Ih при длительной выдержке при температурах ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  за время  $\sim 1000$  лет. Несмотря на сообщение об обнаружении такого льда, последующие исследования не выявили его наличия во льдах Антарктиды.

В работе [Бордонский Орлов 2014] исследованы образцы увлажненных пористых силикатов SBA-15 и MCM-41. Эти материалы имеют большой объем пор в виде упорядоченных цилиндров нанометрового диаметра.

Свойства воды в таких порах существенно изменяются, например, температура замерзания может понижаться до 200 К, а сам фазовый переход оказывается растянутым на интервал  $\sim 10$  К. В этой работе предполагали обнаружить небольшие количества льда XI, даже при концентрациях ниже 1%, с использованием электрических низкочастотных флуктуаций – шумов Баркгаузена. Данный вид шумов определяется скачкообразной перестройкой электрической доменной структуры при изменении параметров среды (давления, температуры, флуктуаций внешних полей и т.п.). Результаты одного из измерений для SBA-15 представлены на рис. 1. Из них следует температурный гистерезис шумов, который указывает на проявление сегнетоэлектрических свойств, возможно связанных с образованием льда XI.

Выполненная работа поставила вопросы об условиях образования льда XI в природных пористых телах. Эти вопросы связаны с размерами пор и их формой, степенью заполнения объема пор водой, свойств материала стенок, условиями замораживания воды в порах и т.д. По-видимому, образование льда XI в объемных структурах при относительно высоких температурах может быть энергетически не выгодным из-за возникновения доменной структуры в среде и появлении макроскопического электрического поля. В тонких достаточно протяженных наноразмерных порах при выстраивании диполей вдоль оси цилиндров энергия поля рассеяния минимизируется из-за большой удаленности поверхностных зарядов на концах цепочки.





Поэтому можно ожидать образование льда XI в пористых средах с вытянутыми порами.

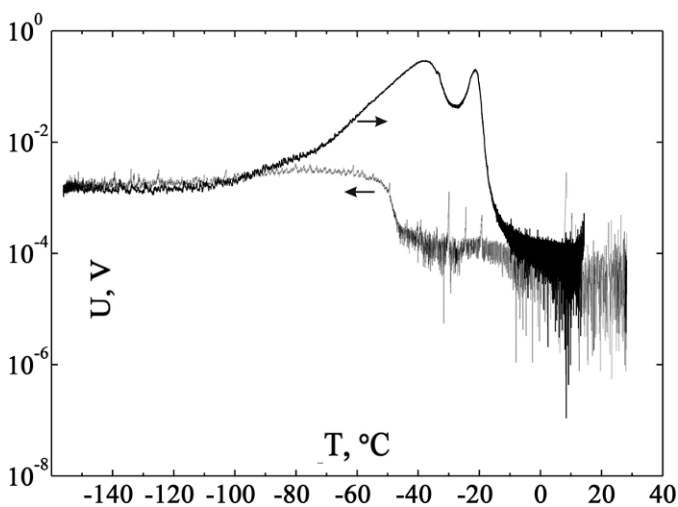


Рис. 1. Результаты измерений среднего значения амплитуды электрических шумов на выходе установки для увлажнённого SBA-15 с весовой влажностью 70%. Стрелки на графиках указывают направление изменения температуры.

Интересным следствием появления сегнетоэлектрического льда в пористых средах является ускорение химического взаимодействия между льдом и стенками пор из-за разницы химического потенциала контактирующих материалов. Поэтому бытующее представление о химической инертности замороженных объектов, в таком случае, может оказаться неверным. Возможно, что данная особенность привела к гибели американского космического челнока «Челленджер». На одну из причин аварии и последовавшей катастрофы указал нобелевский лауреат по физике Р. Фейнман [Млодинов 2015]. По его мнению, уплотняющая прокладка топливных баков подверглась действию атмосферных осадков с последующим их замерзанием на

поверхности корабля до старта с последующей потерей его уплотняющих свойств.

По нашему мнению, такой процесс мог быть связан с особенностями фазовых превращений воды в порах с образованием химически активных сегнетоэлектрических фаз льда. Этот вывод, в частности, подтверждается работой [Hai-Xia *et al.* 2011], где наблюдали фазовый переход супрамолекулярных структур воды в сегнетоэлектрическое состояние при 277 К.

Образование льда XI в порах материалов космических тел, включая Землю, при температурах 50-270 К должно приводить к появлению особых электрических и химических свойств среды. Их необходимо учитывать при рассмотрении процессов структурных превращений в увлажненных космических объектах.

### Список литературы

- Chaplin M. <http://www.lsbu.ac.uk/water/chaplin.html>
- Fukazawa, H., Mae, S., Ikeda, S., & Watanabe, O. 1998. Proton ordering in Antarctic ice observed by Raman and neutron scattering. *Chemical Physics Letters*. V. 294. Issue 6. pp. 554-558.
- Hai-Xia Zhao, Xiang-Jian Kong, Hui Li, Yi-Chang Jin, La-Sheng Long, Xiao Cheng Zeng, Rong-Bin Huang, & Lan-Sun Zheng. 2011. Transition from one-dimensional water to ferroelectric ice within a supramolecular architecture. *Proceedings of The National Academy of Sciences*. PNAS. V. 108. pp. 3481-3486.
- Бордонский Г.С., Орлов А.О. 2014. Исследование сегнетоэлектрических фазовых переходов воды в нанопористых силикатах при совместных электрических шумовых и калориметрических измерениях. // *Физика твердого тела*. Т. 56. № 8. С. 1575-1582.
- Млодинов Л. 2015. Радуга Фейнмана. – М.: Livebook. – 240 с.



## Техногенное оврагообразование на объектах добычи углеводородного сырья в условиях криолитозоны: методы мониторинга.

А.В.Быкова, В.Б.Павлуни  
 ООО Газпром добыча Ямбург, Инженерно-технический центр  
 Лобастова С.А.  
 Башкирский государственный университет, Физико-технический Институт

### Реферат

В данной работе представлены некоторые аспекты по особенностям исследований термоэрозии и оврагообразования в криолитозоне, их мониторинга на объектах добычи углеводородного сырья. В настоящее время продолжается развитие и совершенствование системы геотехнического мониторинга техногенного оврагообразования в криолитозоне по всем необходимым составляющим мониторинга и ее опытная реализация как части системы обеспечения надежности оснований и фундаментов газопромысловых сооружений Ямбургского НГКМ. Необходимы методики по его организации, проведению и прогнозу для широкого круга специалистов и проектировщиков с целью обоснование технических управляющих решений (ТУР) по проектированию и строительству сооружений против оврагообразования в условиях Крайнего Севера.

**Ключевые слова:** термоэрозия; техногенное оврагообразование; геотехнический мониторинг; криолитозона.

## Technogenic Ravine Formation on Objects Produce Hydrocarbons in the Cryolithozone: Methods of Monitoring

A.V.Bykova, V.B.Pavlunin  
 Gazprom dobycha Yamburg LLC  
 S.A.Lobastova  
 Bashkir State University

### Abstract

It is devoted some questions of the research on the characteristics of thermal erosion and raving formation in the objects of extracting hydrocarbon fluids in permafrost. There is an ongoing development and improvement of the geotechnical monitoring of technogenic ravine formation in permafrost all necessary components for monitoring and implementation of the pilot as part of the reliability of bases and foundations Yamburg oil and gas condensate field. Necessary techniques to his organization, conduct and forecast for a wide range of professionals and designers in order to substantiate the technical control decisions (TCD) for the design and construction of buildings against gully in the Cryolithozone.

**Key Words:** thermal erosion; technogenic ravine formation; geotechnical monitoring; cryolithozone.

### Введение

При строительстве и эксплуатации объектов техносферы ответная реакция природной среды на перераспределение вещества и энергии проявляется в деструктивных физико-геологических процессах [Ананенков и др. 2000, Баранов и др. 2005]. В частности, образуются отрицательные формы рельефа – техногенные овраги [Ершов и др. 1982]. В зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов активизация экзогенных процессов связана с опасностью отказов оснований и фундаментов, а именно с выходом параметров за пределы допусков, принятых в проектных решениях [Гребенец и др. 2008].

Несмотря на детально проработанные методы и методики ведения геотехнического мониторинга (ГТМ) в криолитозоне, мониторинг техногенного оврагообразования (развития термоэрозионных оврагов в

техносфере) существующими стандартами не охвачен. Законодательство и нормативно-техническая документация недостаточно четко формулируют подходы к проведению мониторинга термоэрозии и оврагообразования в природно-технических системах (ПТС).

Поэтому особенную актуальность приобретает задача разработки системы методов и методик проведения мониторинга оврагообразования в ПТС.

### Район проведения исследований

ООО «Газпром добыча Ямбург» эксплуатирует Ямбургское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ), расположенное на Крайнем севере Западной Сибири в пределах Ямало-Гыданской провинции, где среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов изменяется от  $-0,5$  до  $-7,0^{\circ}\text{C}$ , а толщина мерзлых пород составляет 300...400 м. Многолетнемерзлые грунты



кустов газовых скважин и газопроводов с нарушением природного рельефа, строительство автодорог без учета поверхностного стока.

### Количественные показатели развития техногенного оврагообразования

В количественные показатели при мониторинге крупных эрозионных форм входят результаты прямых измерений, полученные методом разбивки временных гидрологических створов, по которым проводятся расчеты объема нарушенного грунта ( $V$ ), коэффициента его годового прироста ( $K$ ) [Лобастова 1989], интенсивности донного ( $I_d$ ) и бокового ( $I_a$ ) размыва и др. Эти результаты сохраняются в базе данных в численном и графическом виде.

Количественные показатели интенсивности нарушений, полученные за период 2008–2012 гг. для оврага № 1, возникшего на техногенно-нарушенном склоне у куста газовых скважин, сложенном мелкими песками с прослоями супесей показаны на рисунке (рис.2.). Характерной особенностью является их неоднородность, особенно в период 2010–2011 гг.

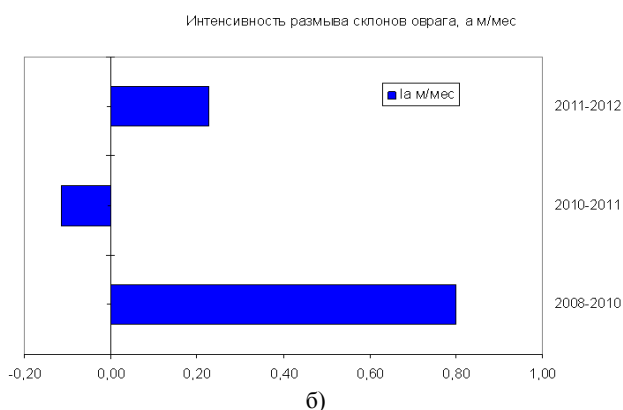
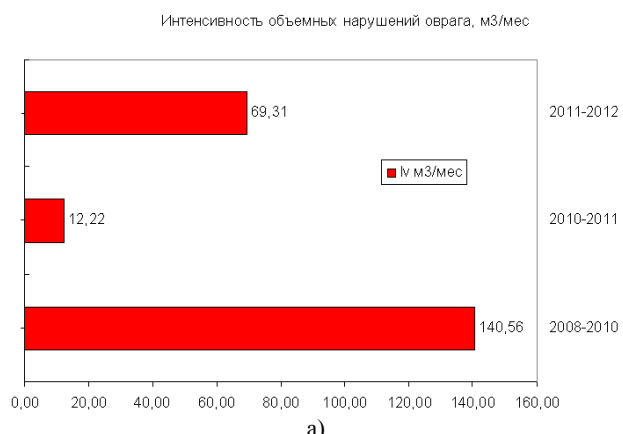


Рис.2. Количественные показатели для оврага № 1:  
а – интенсивность объемных нарушений IV, м³/мес.;  
б – интенсивности размыва бровок Ia, м/мес.

Неоднородность показателей обусловлена тем, что объем нарушенного грунта является интегральной характеристикой  $V=V(a, b, h, L)$ .

Рассмотрим подробно изменение морфометрических параметров овражных систем в годовом цикле.

Наблюдения за весенним снеготаянием показали, что предельно-термоэрозионный механизм размыва для достаточно крупных эрозионных форм реализуется не только на днище оврага, но и вдоль бровок овражной системы. Запас воды в снеге и объем стока на элементах водосборной площади обеспечивают прирост высоты бровок овражной системы, на которых снеготаяние происходит быстрее, за счет их возвышенного положения по отношению к другим частям оврага. Отметим на примере оврага № 1, что в период весеннего снеготаяния интенсивность бокового и донного размыва превышает летнюю в 2–7 раз в зависимости от экспозиции бровок (рис. 3).

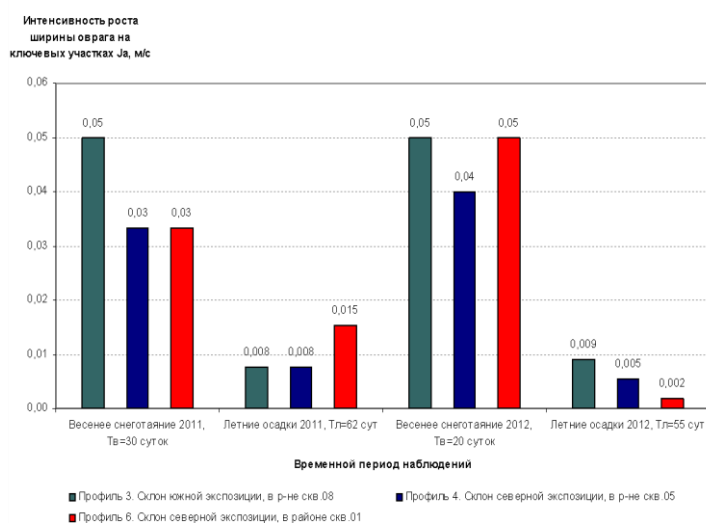


Рис.3. Интенсивность роста ширины оврага № 1 весной и летом 2011–2012 гг. в зависимости от экспозиции бровок

Такие показатели, как коэффициенты прироста площади и объема овражной системы, являются важными расчетными параметрами мониторинга. Они позволяют обобщить данные об изменениях овражности за исследуемый период времени для конкретных территорий. На рис. 4 представлена динамика оврагообразования в ПТС на территории Ямбургского НГКМ за период с августа 2008 г. по август 2014 г. с использованием этих коэффициентов. Полученные кривые прироста овражных нарушений позволяют делать ретроспективный прогноз для овражных систем, чей возраст и стадия развития неизвестны при начале наблюдений. Это, в свою очередь, позволяет объективно выявить причины возникновения, характер причин – природный или техногенный, а также необходимость и срочность мероприятий по противоэрозионной защите прилегающей территории.

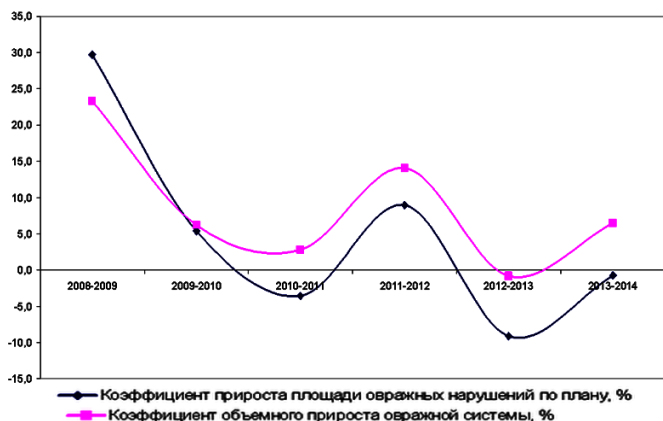


Рис.4. Динамика оврагообразования в ПТС на территории Ямбургского НГКМ в коэффициентах прироста площади и объема овражной системы (%)

Сопоставительный анализ кривых прироста объема и площади техногенных оврагов выявил качественное совпадение с кривой отклонения коэффициента интенсивности снеготаяния от среднееголетних значений по территории Ямбургского НГКМ. Данный факт свидетельствует о том, что ключевым фактором, определяющим интенсивность овражных нарушений как для природных, так и для техносферных оврагов криолитозоны является характер весеннего снеготаяния и запас воды в снежном покрове на исследуемой территории (рис.5).



Рис.5. Отклонение коэффициента интенсивности снеготаяния от среднееголетнего (%) по результатам наблюдений на территории Ямбургского НГКМ

По результатам ГТМ техногенного оврагообразования осуществляется обоснование противоэрозионных мероприятий и технологических решений инженерной защиты при проектировании сооружений против оврагообразования.

Следует отметить такие особые составляющие работы системы геотехнического мониторинга техногенного

оврагообразования в криолитозоне, как постпроектный мониторинг и оценка эффективности проведенных противоэрозионных мероприятий и инженерной защиты склоновых участков. Эффективность может быть полной, частично достигнутой, нулевой и даже отрицательной.

В заключении отметим, что результаты работ и дальнейшего совершенствования методов их выполнения в рамках системы геотехнического мониторинга техногенного оврагообразования в криолитозоне ООО «Газпром добыча Ямбург» могут быть использованы в качестве основы для разработки нормативно-технической документации в форме стандарта предприятия (с методическими приложениями), необходимого для своевременного информационного обеспечения технических управляющих решений по восстановлению эксплуатационной надежности ПТС на склоновых участках криолитозоны.

## Литература

- Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Лобастова С.А., Хабибуллин И.Л. 2000. Экологические основы землепользования при освоении и разработке газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. - 315 с.
- Баранов А.В., Евдокимов В.И. 2005 Геоэкологический мониторинг – основа создания геосистем газовых месторождений криолитозоны. // Газовая промышленность. 2005. № 1. С. 74–77.
- Термоэрозия дисперсных пород / Под редакцией Э.Д. Ершова. – М., 1982. 193 с.
- Гребенец В.И., Аблазина Д.И., Павлунин В.Б. 2008. Активизация криогенных процессов на Газовском полуострове при хозяйственном освоении // Инженерная геология. 2008. № 2. С. 6–9.
- Лобастова С.А. 1989 Методы защиты от оврагообразования на севере Западной Сибири: автореф. дисс... канд. тех. наук. – Уфа, 1989.
- Лобастова С.А., Быкова А.В., Солдаткин М.В. 2012 Особенности проведения полевых исследований при объектном мониторинге техногенного оврагообразования в криолитозоне // Материалы 8-й Общероссийской конференции изыскательских организаций. – М., 2012. С. 82–84.
- Быкова А.В., Лобастова С.А. 2011 Геотехнический мониторинг термоэрозионно-эрозионных процессов и оврагообразования в природно-технических системах криолитозоны // Материалы Международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной 20-летию ООО НПО «Фундаментстройаркос». – Тюмень, 2011. С. 321–324

## Температурный режим субаквальной мерзлоты в Карском море

А.А.Васильев, Г.Е.Облогов  
 Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
 И.Д.Стрелецкая  
 Московский государственный университет, географический ф-т, Москва

### Реферат

Приведены данные наблюдений за температурным режимом субаквальной мерзлоты в Карском море. Выделены два типа температурного режима. Для первого типа характерна температура близкая к температуре фазовых переходов и ее безградиентное распределение по глубине. Второй тип характеризуется низкими температурами до  $-5^{\circ}\text{C}$  и градиентом температуры, указывающим на прогревание мерзлой толщи.

**Ключевые слова:** субаквальная мерзлота, температура, засоленность

## Thermal Regime of the Submarine Permafrost in Kara Sea

A.A.Vasiliev, G.E.Oblogov  
 Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
 I.D.Streletskaia  
 Moscow State University, Geography Department, Moscow, Russia

### Abstract

In this paper it was presented new observations data of thermal regime for submarine permafrost in the Kara Sea. Two types of thermal regime were found. The first type is characterized by a temperature that is close to the phase transition temperature and non gradient depth distribution. The second type is characterized by low temperatures down to  $-5^{\circ}\text{C}$  and the temperature gradient that is indicated by warming of permafrost.

**Key Words:** submarine permafrost, temperature, sediments salinity

Субаквальные многолетнемерзлые породы на шельфе Карского моря относятся к наименее исследованным. Основные сведения о распространении и свойствах субаквальной мерзлоты получены методами высокоразрешающей сейсмоакустики. Прямая информация о мерзлых породах на континентальном шельфе Карского моря, полученная по результатам бурения, весьма ограничена (рис.1). Преимущественно скважины расположены неподалеку от берега, за исключением нескольких скважин на Русановской площади и Университетском поднятии, вскрывших субаквальные многолетнемерзлые породы при глубинах моря больше 50м. Установлено, что субаквальная мерзлота в Карском море представлена прерывистым и островным типами. Размер массивов твердомерзлых пород составляет 100-500м, между ними располагаются отрицательно температурные (охлажденные) породы [Рекант, Васильев 2011]. Данных о мощности субаквальных мерзлых пород очень мало. Тем не менее, можно говорить, что в подавляющем большинстве на шельфе Карского моря распространены реликтовые мерзлые породы, сформировавшиеся в сартанское время.

После начала фландрской трансгрессии мерзлые породы были затоплены, их температура повысилась до температуры фазовых переходов, и началось их протаивание сверху и снизу. Мощность реликтовых субаквальных мерзлых пород составляет 10-60м.

Одновременно были обнаружены штокообразные массивы мерзлых пород мощностью более 100м., формирование которых объясняется промерзанием охлажденных пород при струйной дегазации метана из-под мерзлой толщи [Мельников Спесивцев 1995]. Температура таких мерзлых штоков так же близка к температуре фазовых переходов.

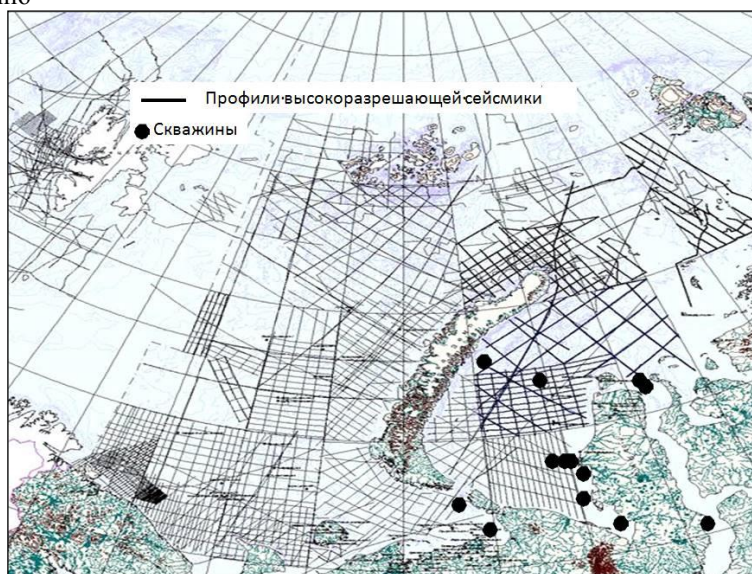


Рис.1. Изученность Баренцева и Карского морей.

## Результаты

Современная температура субаквальной мерзлоты определяется граничными условиями, в т.ч. их изменением во времени. Физическое состояние пород на шельфе (твердомерзлых или охлажденных) зависит от температуры и засоленности. Засоленность пород морского генезиса на шельфе является седиментационной и связана с соленостью морской воды, меняющейся в геологическом времени. Разработанная база данных по засоленности четвертичных отложений, представленных на шельфе Карского моря, позволяет оценить диапазон изменения седиментационной засоленности (рис.2).

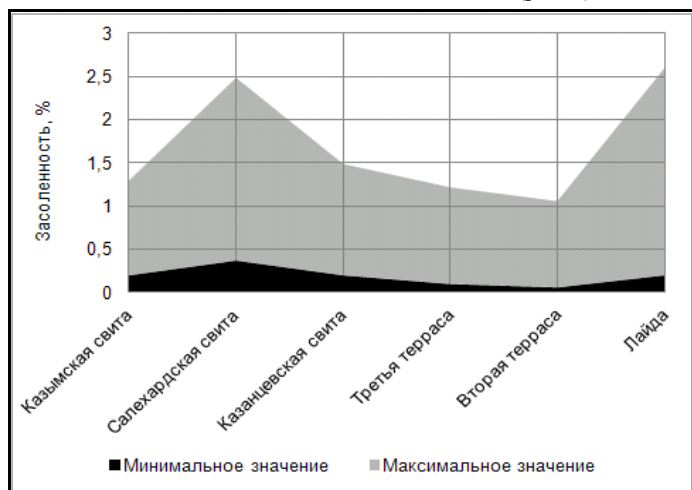


Рис. 2. Диапазон изменения седиментационной засоленности четвертичных пород на шельфе Карского моря.

Нами были собраны и проанализированы все данные о зависимости температуры фазовых переходов от исходной засоленности пород. Результаты приведены на рис.3.

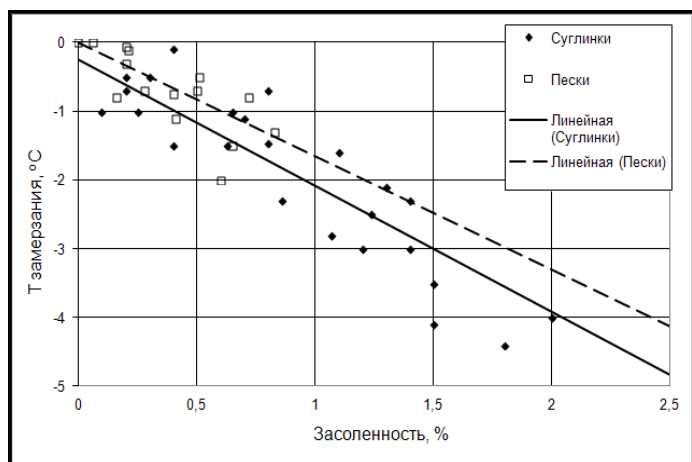


Рис. 3. Зависимость температуры фазовых переходов пород на шельфе Карского моря от засоленности.

Как следует из рисунка, при одной и той же температуре, в зависимости от состава и засоленности отложения могут находиться как в твердомерзлом, так и в

охлажденном состоянии. По нашему мнению, это и является основной причиной существования твердомерзлых и охлажденных пород в одном массиве.

Реальные измерения в немногочисленных скважинах показывают, что температура твердомерзлых пород в Карском море изменяется в узком диапазоне  $-0,8...-1,5^{\circ}\text{C}$ .

При бурении скважин №№ 1 и 2 ОАО АМИГЭ к северо-востоку от северной оконечности полуострова Ямал при глубине моря 13-15 м. были вскрыты твердомерзлые породы с глубины 25-30м от поверхности морского дна с температурой  $-4,0...-4,5^{\circ}\text{C}$  (рис.4).

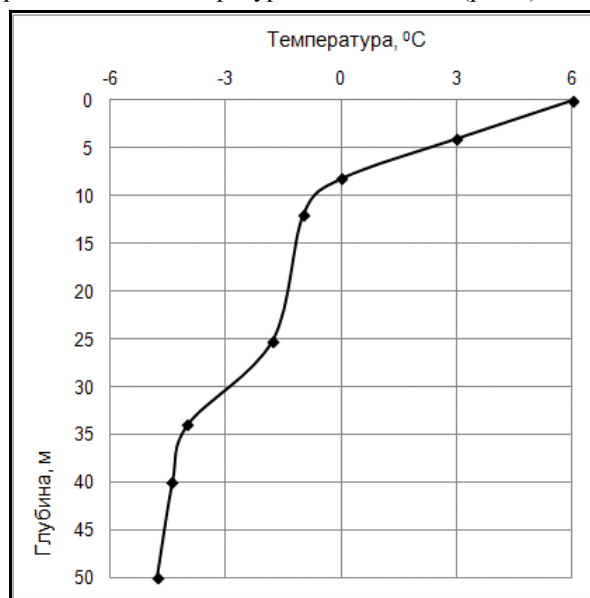


Рис. 4. Распределение температуры пород по глубине в скважине № 1.

Скважины не вышли из мерзлой толщи, т.е. мощность твердомерзлых пород существенно превышает 50 м. Очевидно, что такое распределение температуры по глубине свидетельствует о недавнем затоплении территории.

Таким образом, по температурному режиму субаквальные мерзлые породы на шельфе Карского моря разделяются на два типа: (1) реликтовые и штоковые с температурой близкой к температуре фазовых переходов и (2) недавно затопленные, низкотемпературные с профилем, свидетельствующем об активном прогреве и протаивании верхних горизонтов мерзлоты.

## Литература

- Мельников В.П. и Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. – Новосибирск, Наука, 1995. 198 с.
- Рекант П.В., Васильев А.А. Распространение субаквальных многолетнемерзлых пород в Карском море. // Криосфера Земли, 2011, т. XV, №4, с.69-72.

## Оценка инженерно-геокриологического состояния вмещающих горных пород карьеров горнодобывающих предприятий в криолитозоне геофизическими методами

С.А.Великин, К.И.Бажин, Ю.Л.Марченко

*Вилуйская научно-исследовательская мерзлотная станция ИМЗ СО РАН,*

### Реферат

Наиболее перспективным и наименее затратным способом обработки целого ряда полезных ископаемых является карьерная добыча полезных ископаемых. Основную опасность (сложность) при строительстве и эксплуатации карьеров горной промышленности в криолитозоне представляют процессы деградации мерзлых пород, ведущие к потере устойчивости бортов и развитию оползневых процессов. Поэтому есть потребность проведения специализированных исследований с привлечением современных технических средств и методик.

**Ключевые слова:** Геофизика; Геология; Мониторинг; Модель; Термометрия; Каротаж; Аномалия

## Geophysical Investigations for Estimation Engineering-Geocryological Conditions of Adjacent Strata Of Open-Cast Mines In Permafrost Zone

S.A.Velikin, K.I.Bazhin, Ju.L.Marchenko

*Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Russia*

### Abstract

The most perspective and the least expensive way of minerals processing is the open-cast mining. The basic danger during construction and operation of open-cast mines in permafrost is degradation of frozen rocks. The last leads to the instability of open-cast mine boards and landslips development. Now, despite of information received during engineering-geological study, there is a requirement for the fullest 3D representation of frozen massive structure, as well as, in an objective estimation of physical parameters distribution of possible weakened zones. This can be obtained by using special investigations with modern tools and techniques.

**Key words:** geophysics; geocryology; monitoring; model; thermometry; logging; anomaly

### Введение

Строительство и последующая эксплуатация карьеров в криолитозоне приводят к значительным изменениям инженерно-геокриологических условий, определяющих устойчивость оснований этих объектов и сохранности природного комплекса. Важнейшим фактором этого процесса является вечная мерзлота – при ее деградации деструктивные экзогенные процессы здесь начинают протекать интенсивно, динамично и могут быстро перейти в катастрофическую стадию. Если не уделять достаточного внимания мониторингу криогенной среды, то катастрофическая ситуация связанная с потерей устойчивости оснований и откосов карьеров может возникнуть неожиданно, в любой момент эксплуатации (пример см. на рис.1).

В этих условиях особую роль следует отвести комплексным мониторинговым геофизическим исследованиям. Структура их полей и изменение во временном интервале может отражать состояние вмещающих мерзлых пород и характер процессов.

Не смотря на остроту проблемы, геофизические работы проводятся в весьма ограниченном объеме, что связано с сложностью проведения самих исследований в условиях разрабатываемых месторождений.

Авторы настоящей работы участвовали в проведении исследований по изучению инженерно-геокриологического состояния вмещающих пород участка карьера

«Нюрбинский» (рис.2) в связи с выявленными высокими скоростями смещений реперов на примыкании восточного борта карьера. Для исследования применяется комплекс инженерно-геологических, геофизических и мерзлотных исследований [Зыков 2007, Горяинов и др. 1987].



Рис.1.  
Обрушенный участок борта карьера в мерзлых породах

Комплекс полевых геофизических исследований включал сейсморазведку, электротомографию, георадиолокацию, гамма – каротаж, радиоволновое просвечивание.

### Инженерно-геологические условия района

Инженерно-геологические условия карьера Нюрбинский характеризуются наличием в разрезе слабopочных терригенно-осадочных песчаных, алевритистых, глинисто-алевритистых отложениях нижней и средней юры (частично и верхнего триаса) перекрытыми делювиально-элювиальными образованиями (льдистыми суглинками и супесями).





Рис.2. Карьер «Нюрбинский».

В мерзлом состоянии перекрывающие трубки юрские отложения представляют собой довольно монолитную толщу. Прочность на сжатие этих отложений составляет около 40 МПа, объёмный вес 1.8-2.5 т/м<sup>3</sup>. В талом состоянии прочность их резко снижается, а верхняя часть разреза этих отложений превращается в плывун.

На участке в непосредственной близости к карьере, вскрыты шлировые и повторно-жильные льды. Данные ледяные включения могут оказывать значительное влияние на процессы деформации прибортового пространства карьера. Этот интервал (5-7 м от поверхности) со вскрытыми льдами также может активно принимать участие в годовом теплообороте.

По ряду скважин на глубинах 3.5-6.0 м происходили провалы бурового инструмента. Ниже интервала провалов часто следовали льдистые грунты. Также на участке исследования встречаются суффозионные воронки диаметром до 3 м и глубиной до 1м (рис.3). В 10-20 м от уступа восточного борта карьера находится водоотводная канава и небольшой водоем техногенных соленых вод. Здесь прослеживаются эрозионные борозды временных потоков воды, направленные в сторону водоема (рис.4).



Рис. 3. Суффозионная воронка



Рис. 4. Эрозионные борозды

В непосредственной близости от линий реперов, где были выявлены смещения наблюдается участки с активным проявлением заболачивания. При этом процесс заболачивания происходит не только за счет атмосферных осадков и временных водотоков, но и технических минерализованных вод. Вследствие накопления этих вод в грунтах идут процессы перераспределения солей и изменение и без того нарушенного температурного режима. На основании геокриологических исследований и температурных наблюдений в скважинах следует, что верхнюю часть разреза рыхлых отложений, можно охарактеризовать как пластично-мерзлую. Такие породы могут скользить под влиянием нагрузок не только в непосредственной близости, но и на некотором удалении от бортов карьера. Откосы карьера – около 40°- обеспечивают только устойчивость от поверхностных осыпных и оползневых явлений, но не обеспечивают глубинную устойчивость от тангенциальных напряжений от веса пород,

развивающихся в пластично-мерзлой толще [Ржевский Новик 1978].

## Результаты геофизических исследований

### Сейсмопрофилирование

При полевых наблюдениях использовалась цифровая многоканальная сейсмостанция "Summit Compact" (производства компании DMT, Германия).

В результате проведенных сейсмических исследований восточного борта карьера «Нюрбинский» были построены сейсмические разрезы

На сейсмических картах-срезах (рис. 5) отношения скоростей  $V_s/V_p$  и коэффициента Пуассона выделяется ряд линейных зон субмеридионального простирания.

Наличие зон субмеридионального простирания чередующихся значений параметра  $V_s/V_p$  и коэффициента Пуассона можно трактовать как отражение механизма отрыва оползневой тела при его смещении в сторону склона карьера.

Следует отметить, что эти зоны хорошо коррелируются с более глубинным (~ до 50м) строением геоэлектрических разрезов по данным электроразведки.

### Геоэлектрическая томография

Для работ методом геоэлектрической томографии использовалась многоканальная и многоэлектродная электроразведочная аппаратура Syscal-Pro производства Французской фирмы Iris Instruments.

Результаты обработки полевых данных электротомографии (рис.5) показывает, что геологическая толща исследуемого участка расчленяется на высокоомную верхнюю часть и относительно низкоомную нижнюю. При этом имеет место неоднородное распределение удельного сопротивления по латерали во всем диапазоне глубин. На рис.6 виден слой мощностью примерно 20-30 м, присутствующий на многих из профилей. Можно предположить, что этот слой связан с особенностями геокриологического строения верхней части нижнеюрских отложений - льдонасыщенной толщ мерзлых пород.

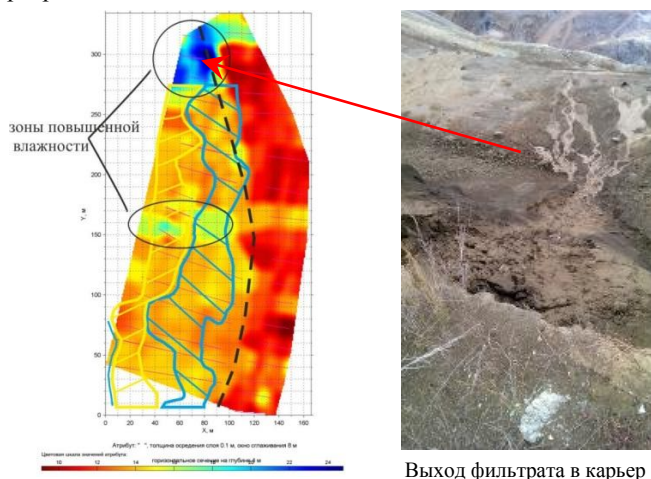
На карте изолиний кажущегося сопротивления (рис. 5) по данным геоэлектротомографии синим цветом выделен участок пониженных сопротивлений. Интересно отметить, что он имеет сходство с контуром обрушенного борта карьера трубки Юбилейная, также расположенного в Западной Якутии (см. рис. 1).

Следует отметить, что присутствие в геоэлектрическом разрезе довольно крупных тел изометричной формы и подстилающих их пластов глинистых пластично мерзлых пород может быть причиной развития оползневой активности ниже слоя годовых колебаний температур. Это предположение вполне обосновано, поскольку полученные в результате геоэлектрические разрезы в пределах имеющихся скважин дают почти полное соответствие изученным по керну и по каротажу геологическим разрезам скважин (рис.7), а геоэлектрическое строение (рис.5) совпадает со строением, построенным с помощью сейсмопрофилирования карт отношения продольных и поперечных скоростей, по которым выделяются ослабленные зоны и возможные трещины бокового отпора.

Подводя итоги проделанных электротомографических работ, можно отметить их высокую информативность для



источником опасности для устойчивости восточного борта карьера.



Меридионально направленные зоны плотных и разрушенных пород по данным малоглубинной сейсморазведки.

Рис. 8. Результаты георадиолокации Карта-срез на глубине 4 м в изолиниях диэлектрической проницаемости по данным георадиолокации

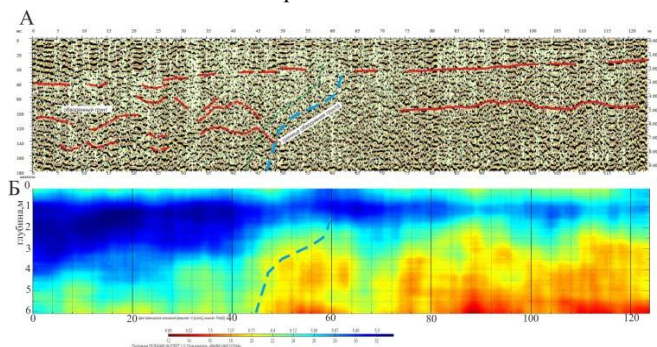


Рис.9. Геоэлектрический разрез участка разгрузки грунтовых вод по данным георадиолокации А – радарограмма георадиолокационной съемки, Б - разрез изолиний диэлектрической проницаемости

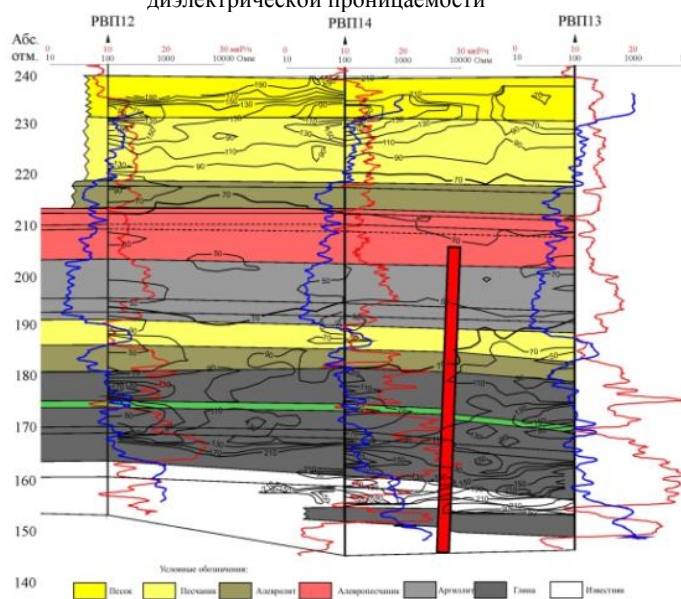


Рис. 10. Обобщенный разрез по результатам скважинных наблюдений

**Резюме**

Результаты геофизических работ подтверждают, что верхняя часть рыхлых отложений (10-15 м) достаточно раздроблена и разуплотнена, есть незначительные воронки, возможно термокарст.

Фиксируются трещины отрыва, зоны разуплотнения, проседание грунтов, обводнение. Хвостохранилище, соответственно подпитка водой, да и температурный режим верхнего слоя благоприятствуют развитию негативных процессов.

В результате проведенного структурно- тектонического анализа и комплекса инженерно-геофизических работ в примыкании восточного борта установлены закономерности инженерно-геокриологического строения и выявлены потенциально опасные зоны, состояние которых необходимо контролировать.

**Выводы**

1. Основными причинами смещения бортов карьера являются особенности геокриологического строения и технологическая деятельность способствующие оттаиванию мерзлых пород, а спусковым механизмом являются поверхностные геокриологические процессы, спровоцированные антропогенной деятельностью.
2. Ведущим геофизическим методом, позволяющим обнаружить и проследить смещение пород, примыкающих к бортам карьера, безусловно является электрическая томография, в комплексе с радиоволновым просвечиванием, гамма каротажем и термометрией для выявления и контроля динамических поверхностных геокриологических процессов.
3. Прделанные исследования показывают целесообразность геофизического мониторинга, чтобы на ранней стадии выявлять и прогнозировать опасные участки, на которых возможно возникновение оползневых процессов.
4. Избежать развития негативных процессов можно путем своевременной разработки мероприятий по обеспечению устойчивости на основе долговременных программ натуральных наблюдений.

**Литература**

Зыков Ю.Д. Геофизические методы исследования криолитозоны. – М.: Изд-во МГУ, 2007.  
 Горяинов Н.Н., Боголюбов А.Н., Варламов Н.М., Матвеев В.С., Никитин В.Н., Скворцов А.Г. Изучение оползней геофизическими методами. М.: Недра, 1987.  
 Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основа физики горных пород. – М.: Недра, 1978.  
 Бобачев А.А., Яковлев А.Г. Аппаратно-методические комплексы для геофизических исследований по методике электротомографии // Нефть. Газ. Новации, 2012, № 2  
 Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. – М.: Изд-во МГУ, 2004.

## Анализ развития озерно-термокарстовых равнин на основе подходов математической морфологии ландшафта

А.С.Викторов, В.Н.Капралова, Т.В.Орлов, О.Н.Трапезникова, М.В.Архипова, П.В.Березин,  
А.В.Зверев, Е.Г.Панченко, С.А.Садков  
Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва

### Реферат

Целью работы является рассмотрение различных вариантов гипотез развития озерно-термокарстовых равнин на базе математического моделирования их морфологической структуры. В основу модели положены подходы математической морфологии ландшафта, базирующиеся на использовании теории случайных процессов. Рассмотрены четыре варианта модели: 1-2) с синхронным или асинхронным стартом термокарстового процесса; 3-4) с квазиравномерным ростом размеров термокарстовых озер или с ростом пропорциональным плотности тепловых потерь через боковую поверхность озера. Математический анализ моделей показывает, что все четыре качественно отличные гипотезы развития морфологической структуры равнин приводят к весьма различающимся выводам о виде распределения радиусов (площадей) термокарстовых озер. Возможные варианты распределений эмпирически исследованы на 16 участках в различных регионах. Анализ эмпирических данных показывает, что наблюдаемые распределения размеров озер в подавляющем большинстве случаев отвечают логнормальным распределениям и не согласуются с иными исследуемыми типами распределений. Проведенный анализ заставляет сделать вывод в пользу логарифмического характера роста размеров термокарстовых озер в условиях синхронного для каждого участка старта процессов возникновения термокарстовых озер.

**Ключевые слова:** логнормальное распределение, математическая модель, синхронный старт и асинхронный старт термокарстовых озер, теория случайных процессов.

### Analysis of Termokarst Lacustrine Plains Based on the Approach of the Mathematical Morphology of Landscape

A.S.Victorov, V.N.Kapralova, T.V.Orlov, O.N.Trapeznikova, M.V.Archipova, P.V.Berezin, A.V.Zverev, E.G.Panchenko, S.A.Sadkov  
Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Moscow, Russia

### Abstract

The aim of the work is the analysis of different variants of hypotheses for development of thermokarst lacustrine plains, based on mathematical modeling of their morphological pattern. The model is based on the mathematical morphology of landscape using the theory of random processes. Four variants of the model are examined: 1-2) with synchronic and asynchronic start of the thermokarst process; 3-4) with semi-uniform growth of thermokarst lakes or with the growth proportional to density of heat loss through the side surface of the lake. Mathematical analysis of the models reveals that these four essentially different models result in essentially different conclusions about radius (square) distributions of thermokarst lakes. Possible variants of the distributions are empirically tested for 16 sample areas in different regions. Analysis of empirical data shows that observed distributions of lake sizes generally correspond to lognormal distribution and do not correspond to other tested types of distributions. The performed analysis results in the conclusion about logarithmical character of thermokarst lake growth with synchronic start of the thermokarst process within every tested area

**Key Words:** Lognormal distribution, mathematical model, random process theory, synchronic and asynchronic start of thermokarst process.

### Введение

Целью настоящей работы является рассмотрение различных вариантов гипотез развития озерно-термокарстовых равнин на базе математического моделирования их морфологической структуры. В основу создания модели положены подходы математической морфологии ландшафта [Викторов 1998, Викторов 2006, Капралова 2014], базирующиеся на широком использовании теории случайных процессов.

### Базовые модели

В основе модели базового варианта (вариант 1.0) положены следующие основные предположения:

Процесс появления термокарстовых понижений происходил за короткий отрезок времени («синхронный старт»); он являлся вероятностным и на непересекающихся площадках шел независимо, при этом вероятность возникновения понижений на пробной площадке зависит только от ее площади ( $\Delta s$ ); для малых



площадок вероятность возникновения одного понижения много больше, чем вероятность возникновения нескольких понижений.

Рост размеров озер благодаря термоабразионному воздействию происходит независимо друг от друга, и он прямо пропорционален запасам тепла в озере и обратно пропорционален площади боковой поверхности озерной котловины.

Таким образом, нами рассматривается вариант синхронного старта, когда процесс появления первичных озер относительно короток по сравнению с периодом их развития, и в дальнейшем число понижений остается постоянным. Озеро в этой схематизации рассматривается как объект круговой формы, как это характерно для многих озер.

Созданные основания модели позволяют аналитическим путем получить закономерности строения термокарстовой равнины. Как можно показать (например, [Карлин 1971]), из справедливости высказанных положений строго вытекает, что распределение числа термокарстовых понижений (центров) на случайно выбранной площадке подчиняется закону Пуассона [Викторов 1995, Викторов 2006], то есть,

$$P(k, s) = \frac{(\gamma s)^k}{k!} e^{-\gamma s} \tag{1}$$

где  $\gamma$  - среднее число понижений на единицу площади,  $s$  - площадь пробной площадки.

Из второго предположения аналитическим путем удастся показать, что процесс роста радиусов термокарстовых форм можно при значительном ( $r - s$ ) приближенно рассматривать как марковский случайный процесс с непрерывным временем с переходной функцией

$$f(v, x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x\sqrt{t}}} e^{-\frac{(\ln \frac{x}{v} - at)^2}{2\sigma^2 t}} \tag{2}$$

где  $a, \sigma$  - параметры распределения,  $v$  - начальный размер термокарстового понижения,  $x$  - размер понижения через время  $t$ .

Если для упрощения в модели мы примем, что первичные термокарстовые понижения в момент возникновения имеют единичный радиус (это отвечает нормированию радиуса по минимальному значению), то, отсюда следует, что в любой момент времени мы должны наблюдать логнормальное распределение радиуса термокарстовых форм.

В качестве второго варианта (вариант 2.0) модели рассмотрим случай, базирующийся на наблюдениях ряда исследователей о равномерном росте озер. Поскольку в эту равномерность всегда могут быть вкраплены случайные колебания скорости роста, то вероятностный аналог этой ситуации будет отличаться вторым

предположением, имеющим несколько отличную формулировку:

2а. Рост размеров озер благодаря термоабразионному воздействию, происходит независимо друг от друга, и имеет постоянное вероятностное распределение.

Соответствующий анализ, в точности аналогичный предыдущему приводит к следующему результату: процесс роста радиусов термокарстовых форм можно при значительном ( $r - s$ ) приближенно рассматривать как марковский случайный процесс с непрерывным временем с переходной функцией

$$f(v, x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i\sqrt{t}}} e^{-\frac{[(x-v)-a_i t]^2}{2\sigma_i^2 t}} \tag{3}$$

где  $a_i, \sigma_i$  - параметры распределения на рассматриваемом временном интервале,  $v$ - начальный размер термокарстового понижения  $x$  - размер понижения через время  $t$ . Следуя далее и учитывая, что сумма нормально распределенных независимых приращений радиусов также распределена нормально мы получаем, что в любой момент времени должны наблюдать нормальное распределение радиуса (а значит и площади) термокарстовых форм.

Рассмотрим несколько отличающуюся ситуацию – асинхронного старта. Пусть генерация новых термокарстовых озер продолжается в течении всего рассматриваемого периода времени (0, t), интенсивность генерации является переменной и задается функцией  $\lambda(u)$ , определяющей среднее количество озер, появляющихся на единице площади в момент времени  $u$ . В этом случае модель несколько модифицируется и ее первое предположение заменяется:

1а. Процесс появления термокарстовых понижений происходит постоянно («асинхронный старт»); он являлся вероятностным и на непересекающихся площадках и интервалах времени идет независимо, при этом вероятность возникновения понижений на пробной площадке зависит только от ее площади ( $\Delta s$ ); для малых площадок и малых интервалов времени вероятность возникновения одного понижения много больше, чем вероятность возникновения нескольких понижений, то есть

$$\begin{aligned} p_1 &= \lambda(t)\Delta s\Delta t + o(\Delta s\Delta t) \\ p_k &= o(\Delta s\Delta t) \quad k = 2, 3, \dots \end{aligned} \tag{4}$$

где  $\lambda(u)$  - функция, определяющая среднее количество озер появляющихся на единице площади в момент времени  $u$ . При таком предположении распределение площадей (радиусов) термокарстовых озер к моменту времени  $t$  после начала процесса на рассматриваемом участке может быть получено

интегрированием с учетом вероятности того, что данное термокарстовое озеро появилось в тот или иной момент времени

$$f(x, t) = \frac{\int_0^t f_0(x, t-u) \lambda(u) du}{\int_0^t \lambda(u) du} \quad (5)$$

где  $f_0(x, u)$  – распределение площади (радиуса) озера через время  $u$  после его генерации.

В зависимости от функции плотности распределения генерации озер можно получить очевидно разные результаты определения распределение площадей (радиусов) термокарстовых озер. Рассмотрим случай постоянной равномерной генерации озер, то есть

$$\lambda(u) = \lambda_0 \quad (6)$$

В этом случае базовая модель 1.0 трансформируется в модель 1.1 с асинхронным стартом (предположение 1а), и плотность распределения радиусов, как показывает использование выражения (5), после упрощения дается выражением

$$f_r(x, t) \approx \frac{1}{atx} \text{ при } x \geq 1. \quad (7)$$

Распределение для краткости в рамках данной работы называется «логарифмическим»<sup>1</sup>.

Аналогично может быть рассмотрен случай асинхронного старта в модели 2.0, при этом она трансформируется в модель, которая может быть названа 2.1. Распределение радиусов термокарстовых озер в этой модели может быть найдено указанным выше путем, вычисляя выражение

$$f_r(x, t) = \frac{1}{t} \int_0^t \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 u}} e^{-\frac{(x-au)^2}{2\sigma^2 u}} du \quad (8)$$

Используя описанное приближение легко получаем, что распределение радиусов (а также диаметров) термокарстовых озер при большом времени в модели 1.1 должно отвечать равномерному распределению

$$F_r(x) \approx \frac{x-a}{b-a}, \quad a \leq x \leq b \quad (9)$$

Таким образом полученные результаты показывают, что все четыре качественно отличные гипотезы развития морфологической структуры озерно-термокарстовых равнин (табл.1) приводят к четырем весьма различающимся выводам о виде распределения радиусов (площадей, диаметров).

Таблица 1. Виды распределения параметров термокарстовых озер при разных вариантах развития

Условия развития озерно-термокарстовых равнин	Синхронный старт	Асинхронный старт
Логнормальный радиусов рост озер	Модель 1.0 Логнормальное распределение площадей (радиусов) озер	Модель 1.1 «Логарифмическое» распределение площадей (радиусов) озер
Нормальный рост радиусов озер	Модель 2.0 Нормальное распределение радиусов озер	Модель 2.1 Равномерное распределение радиусов озер

Для проверки данного теоретического обоснования было проведено эмпирическое исследование реальных распределение параметров термокарстовых озер в пределах озерно-термокарстовых равнин.

### Эмпирическая проверка

Для исследования были выбраны 16 участков в различных регионах (рис. 1).

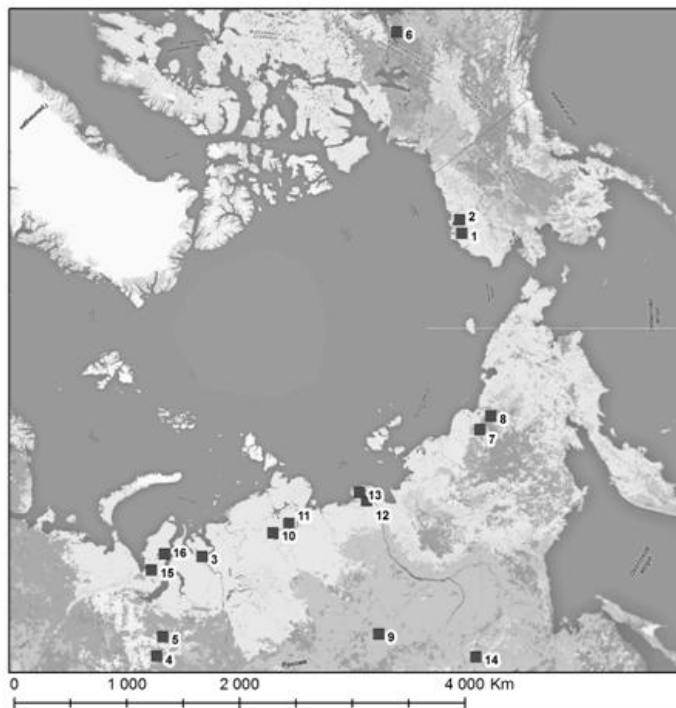


Рис.1. Обзорная карта ключевых участков

В качестве исходных были использованы материалы космической съемки с разрешением на местности 5-30 м. Методика обработки включала:

- выбор эталонных участков,
- выделение термокарстовых озер,
- определение площадей озер и проверка соответствия распределения площадей озер а) логнормальному распределению, б) «логарифмическому» распределению;

<sup>1</sup> Название сугубо условное, так как вообще логарифмическим распределением называется распределение отличное от данного.

- вычисление средних диаметров озер и проверка соответствия распределения средних диаметров а) нормальному распределению, б) равномерному распределению.

Выборка средних радиусов контуров формировалась по выборке площадей с использованием соотношения

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad (10)$$

где  $S$  - площадь озера.

Полученные данные включали выборки объема от 74 до 576 озер. Анализ результатов показывает, что на подавляющем большинстве участков получено логнормальное распределение (14 из 16 на уровне значимости 0,99). Другой вид распределений («логарифмический») получен на том же уровне значимости только на одном участке в двух выборках из трех. На рисунках 2 а, б графически отражено соответствие эмпирических распределений различным видам теоретических распределений для некоторых участков.

### Выводы

1. Статистические распределения параметров термокарстовых озер на участках озерно-термокарстовых равнин относительно однородных по геоморфологическим, геокриологическим и ландшафтным условиям различны при различных предположениях о развитии озерно-термокарстовых равнин
2. Анализ эмпирических данных по распределению параметров термокарстовых озер показывает, что наблюдаемые распределения в подавляющем большинстве отвечают логнормальным распределениям и не согласуются с иными исследуемыми типами распределений
3. Проведенный анализ заставляет сделать вывод в пользу логарифмического характера роста размеров термокарстовых озер в условиях синхронного для каждого участка старта процессов возникновения термокарстовых озер.

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00357).

### Литература

Викторов А.С. 1995. Математическая модель термокарстовых озерных равнин как одна из основ интерпретации материалов космических съемок. // Исследование Земли из космоса №5, с.42-50.

Викторов А.С. 1998. Математическая морфология ландшафта. – М., 180 с.

Викторов А.С. 2006. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. – М.: Наука, 252 с.

Капралова В.Н. 2014. Закономерности развития термокарстовых процессов в пределах озерно-термокарстовых равнин (на основе подходов математической морфологии ландшафта // Автореферат канд. дисс. – М. ИГЭ РАН, 24 с.

Карлин С. 1971. Основы теории случайных процессов. – М.: Мир, 536с.

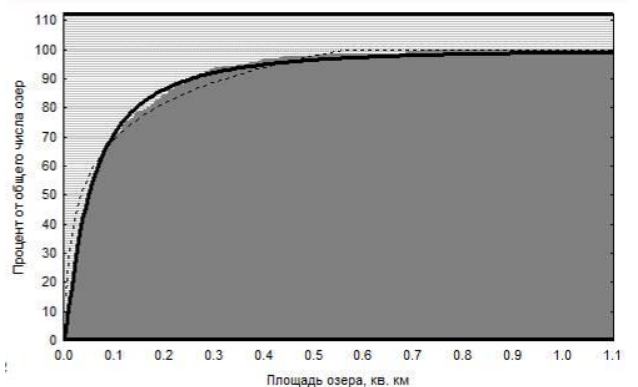
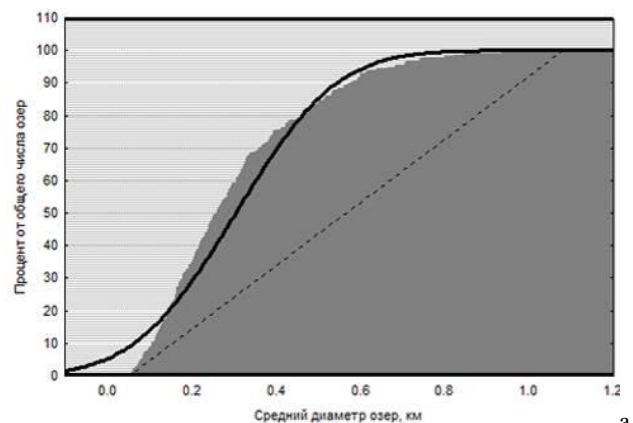


Рис.2. Пример соответствия эмпирических распределений различным видам теоретических распределений (участок Таймырский 1):

а – средний диаметр озер (сплошная линия - нормальное распределение, пунктир – равномерное распределение, граница закрашенной области – эмпирическая функция распределения),  
б – площадь озер озер (сплошная линия - логнормальное распределение, пунктир – «логарифмическое» распределение, граница закрашенной области – эмпирическая функция распределения).

## Система понятий в криологии

В.Б.Геннадиник

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

В.О.Доманский

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*ТюмГНГУ Институт криогенных ресурсов, Тюмень*

### Реферат

Криология в настоящий момент переживает этап интенсивного формирования общей терминологии и единых подходов к описанию объектов и предметов исследования, к систематизации информации. Причиной выступают два основных фактора: расширением объекта исследования и появлением новых методов сбора, представления и анализа данных и знаний. В основе структуры системы понятий лежат их категории: предметы, процессы и свойства. Представлено математическое описание онтологии.

**Ключевые слова:** Криология, онтология, методология, система понятий

### System Concepts in Cryology

V.B. Gennadinik

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

V.O.Domanskii

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*TSOGU Institute of cryogenic resources, Tyumen, Russia*

### Abstract

Cryology currently undergoing an intensive forming of common terminology, common approaches to the description of the objects, common organizing of information. The reason are two main factors: the expansion of the object of research and the emergence of new methods of collection, presentation and analysis of data and knowledge. The basis of the structure of systems of concepts are categories: objects, processes, and properties. A mathematical description of the ontology.

**Key Words:** Cryology, ontology, methodology, system of concepts.

### Введение

В основе любого научного знания лежит система понятий, являющаяся результатом соглашения специалистов в предметной области и включающая четко определенные и однозначно трактуемые термины. Один из основателей современной химии Лавуазье писал, что каждая физическая наука необходимо состоит из ряда фактов, образующих науку, представлений, их обобщающих, и слов, их выражающих. Слово должно рожать представление, представление должно изображать факт, это три оттиска одной и той же печати [Лавуазье 1943].

Такая система понятий, разумеется, не является чем-то застывшим, определенным раз и навсегда, она развивается вместе с наукой и стимулирует её развитие. Далее Лавуазье пишет, что нельзя усовершенствовать язык без усовершенствования науки, ни науку без усовершенствования языка и что, как бы ни были достоверны факты, как бы ни были правильны представления, вызванные последними, они будут выражать лишь ошибочные впечатления, если у нас не будет точных выражений для их передачи» [Лавуазье 1943].

Более того, Гегель утверждал, что система категорий, построенная по принципу субординации, соподчинения понятий, в отличие от простого механического набора понятий уже сама по себе есть форма истины [Гулыга 1986]. Система категорий является формализацией имеющихся знаний и сама по себе представляет ценность, будучи метазнаниями – знаниями о знаниях. В нашем случае, роль такой метанауки готова взять на себя криософия – направление онтологии, предлагающее продуктивную методологию исследований с учетом расширения объекта криологии и его особенностей [Мельников 2014].

Настоятельная необходимость упорядочения терминологии и систематизации знаний возникала в различных областях знания на протяжении развития науки неоднократно. Как правило, это происходило в результате накопления большого количества новых фактов и знаний. В этих случаях для дальнейшего познания требовалась обобщение новой информации и создание нового (или развитие старого) языка. Создание новой системы терминов обнажало недостатки существующей теории, объединяло усилия ученых, на основе цельного описания накопленных знаний, и



стимулировала научный поиск и производство новых знаний.

Криология как раз в настоящий момент переживает этап интенсивной систематизации накопленного ранее материала, выработки общей терминологии, единых подходов к описанию объектов и предметов исследования. Это связано с двумя основными факторами: расширением объекта исследования и появлением новых методов сбора, представления и анализа данных и знаний [Мельников Геннадий 2014].

Объект криологии расширяется на наших глазах, включая в поле своих интересов разнородные явления, традиционно изучаемые разнообразными отраслями знания от биологии до астрономии. Это связано в первую очередь с особенностями льда [Мельников Геннадий Брушков 2013].

Аномальные термодинамические и электромагнитные свойства льда делают заметным влияние фазовых переходов льда на вмещающую среду, часто радикально меняя ее структуру и свойства. Водородные связи молекул льда, тождественные водородным связям внутри живых организмов, обеспечивают сродство холодного и живого – способность образовывать новые комплексные объекты и устойчивые системы. Распространенность криогенных условий, процессов и образований обуславливает их широкое воздействие на окружающую среду, создавая наблюдаемое криоразнообразие – разнообразие объектов и явлений, связанных с холодом и фазовыми переходами льда [Мельников Геннадий Брушков 2013].

С другой стороны появились новые методы сбора, представления и анализа данных и знаний. Эти методы являются следствием роста доступности Интернета, коммуникационной революции, удешевившей информацию и создавшей предпосылки революции информационной – не просто публикации и обмена данными, но и типизации этих данных и превращение их в информационные ресурсы. Для решения этой задачи как раз и необходимо единое информационное пространство – система четко и непротиворечиво определенных понятий.

Понятия криологии (как и всякой любой области знания [Кулебакин 1968]), представляют собой совокупность трех групп: специфические криологические термины, понятия, одновременно рассматриваемые в криологии и смежных областях, и понятия, принадлежащие к общенаучным терминологическим системам. Наибольшие сложности при создании криологической системы понятий, очевидно, возникнут при формализации второй группы – придется заняться объединением в единую систему, терминов из различных отраслей знания.

Однако даже в первой группе собственно криологических понятий очевидны сложности. Даже сам термин «криосфера» трактуется различными исследователями по-разному. Так, в изданиях прошлого (но совсем недалекого от нас) тысячелетия, как, впрочем, и в некоторых совсем свежих работах, криосфера – «прерывистая и непостоянная по конфигурации оболочка

Земли в зоне теплового взаимодействия атмосферы, гидросферы и литосферы, характеризующаяся отрицательной или нулевой температурой ...» [Большой энциклопедический словарь 1991]. В более свежих изданиях и большинстве справочников в интернете дано расширенно и более современное определение криосферы: «одна из географических оболочек Земли, характеризующаяся наличием или возможностью существования льда» [[https://ru.wikipedia....](https://ru.wikipedia...)].

### Элементы системы понятий

В основе структуры системы лежат их категории: предметы, процессы (явления) и свойства. К категории предметов относятся объекты, а к категории процессов – понятия, связанные с действиями, и изменением состояния. Это разделение достаточно условно и зависит от выбранных характерных временных и пространственных масштабов (и, соответственно, от характерных скоростей). Так, например понятие «оледенение» естественно рассматривать как процесс на временных масштабах сопоставимых со временем его существования, и как объект, для много меньших характерных времен. Поэтому часто удобно объекты и процессы объединять в обобщенную категорию «явления».

К категории свойств относятся понятия, определяющие характеристики и способности явлений. Они могут носить качественную или количественный характер (в последнем случае их удобно называть величинами). Наконец в систему понятий криологии, входящей в геолого-географический блок наук и занимающейся преимущественно Землей, целесообразно включить

Система понятий включает в себя помимо самих понятий еще и отношения между ними. Отношения собственно и определяют связность и успешность системы понятий и более детально и формально будут описаны в заключительной части статьи.

Система понятий может быть построена различными способами и, неизбежно, будет носить особенности авторского восприятия предметной области. Для максимального учета сложившейся терминологии необходимо описание терминов в трактовке различных школ, желателен их перевод на иностранные языки и учет синонимов.

Важно явно поименовать возможные (и в любой нетривиальной предметной области неизбежные) недостатки: неопределенность или циклическую определенность понятий, многозначность терминов, когда один термин имеет несколько значений (в этих случаях необходимо явно в названии термина добавлять дополнительные уточнения).

Система понятий или терминология предметной области может называться научной лишь в том случае, если она представляет собой обоснованную, полную в определенном смысле систему слов или словосочетаний, являющуюся результатом консенсуса основных научных школ и отдельных специалистов. Такая система требует формального описания, вариант которого предложен в следующей части статьи.



## Формальное описание

### Онтология и онтологическая алгебра

Система понятий  $C(P, R, A) = \{C_i\}$  представляет собой множество понятий  $C_i$  с их свойствами ( $P$ ), связями ( $R$ ) и аксиомами ( $A$ ).

$N_C$  – число элементов  $C$  – количество описанных в системе понятий,  $N_R$  – число связей между понятиями.

Максимальное число пар связанных понятий (но не связей, два понятия могут быть связаны несколькими отношениями одновременно) – число сочетаний из  $N$  по 2:  $\max N_R = C_N^2 = \frac{N_C!}{2(N_C-2)} \approx N_C^2/2$

Для системы понятий также как и для любого ее подмножества  $U \subset C$ , содержащего  $N_U$  элементов и  $N_R(U)$  связанных понятий, можно определить его связность – отношение числа пар связанных понятий к максимальному числу пар:  $R_U = 2N_R(U)/N_U^2$ .

Для всей системы понятий связность  $R_C = 2N_R/N_C^2$ . Исследуя связность групп понятий можно кластеризовать предметную область – разбить ее на сравнительно независимые области (кластеры).

Свойства понятий  $P$  могут являться как понятиями, так и их конкретными экземплярами или значениями. Свойства могут принимать значения из определенных областей значений – доменов  $D$ . Значение  $i$ -ого свойства  $i$ -ого понятия принадлежит домену  $D_{ij}: V(P_{ij}) \subset D_{ij}$ .

Отбор понятий и их экземпляров может осуществляться по значениям одного или нескольких свойств – т.н. фассетная классификация понятий.

Домены могут быть наборами понятий, экземпляров понятий или диапазонами значений. В последнем случае они могут носить дискретный характер, в первых двух – только дискретный. Дискретные диапазоны значений, как правило, представляют собой лингвистические переменные, принимающие значения из определенных наборов, обычно описанных функциями принадлежности, на шкалах параметров.

Важными являются встроенные типы доменов, которые можно разделить на общесистемные и специфичные для предметной области. К первым традиционно относят число, логическую переменную, дату/время, произвольный тест. Вторые отражают особенности системы понятий и образуют область соотношения системы понятий, в нашем случае это: характерные пространственные, временные и энергетические масштабы, интервалы температур, географические координаты. Область соотношения – объединяет характеристики, присущие всем (или почти всем) понятиям предметной области и обеспечивает возможность фассетной классификации на всей системе понятий.

$R_{ij}^k = R_{ij}^k(C_i, C_j)$  –  $k$ -ая связь между понятиями  $C_i$  и  $C_j$ , напомним, что два понятия могут быть связаны произвольным числом связей, часть из которых могут быть зависимыми, например, симметричными или ассиметричными. Если понятия попарно связаны между

собой, они образуют цепи. Такая составная связь является произведением первичных связей:

$$R_{i,j}(C_i, C_j) = R_{i,k}(C_i, C_k) \cdot R_{k,j}(C_k, C_j).$$

Произведение связей обладает свойством транзитивности, но не обладает коммутативностью. Наличие тройных и более сложных связей в данной модели не рассматривается.

На системе связей можно определить метрику, используя понятие интенсивности связи  $I(R_{i,j}) \leq 1$  характеризующей близость понятий. Если  $I(R_{i,j}) = 1$ , то  $C_i$  и  $C_j$  – синонимы.

Интенсивность связи между многократно связанными понятиями определяется как максимальная интенсивность по всем цепочкам, соединяющим понятия  $\tilde{I}(R_{i,j}) = \max \prod_{k,l} I_{k,l}$ , где определена системная связность  $\tilde{I}$ , учитывающая косвенную связь понятий в отличие от введенной ранее, прямой связности. Если понятия не связаны напрямую  $I(R_{i,j})$ . Интенсивность связи цепочки понятий равна произведению интенсивностей звеньев цепи:  $\tilde{I}_{i,j} = I_{i,k} \cdot I_{k,j}$ . В системе не может быть несвязанных между собой понятий:  $\tilde{I}(R_{i,j}) > 0 \forall i, j$ .

После введения понятия «интенсивность связи» можно указать еще одну характеристику связности для системы понятий или ее подмножества  $C$ :  $S(C) = \sum_C \tilde{I}_{i,j}/C_N^2 \approx 2 \sum_C \tilde{I}_{i,j}/N_U^2$

Кластеризация системы понятий с помощью новой характеристики может отличаться от кластеризации с помощью подсчета количества парных связей. Для системы синонимов

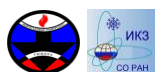
$$R_U = S(U) = 1, \text{ если } I(R_{i,j}) = 1 \forall i, j, C_i \in U \text{ и } C_j \in U.$$

Для всей системы понятий связность  $R_C = 2N_R/N_C^2$ .

Ключевым для построения системы является специфический тип связи потомок – предок. Такие связи формализуют оба основных способа определения понятий экстенциональный и интенциональный. Первый заключается в определении обобщающего понятия через перечисление всех его подтипов, второй заключается в определении подтипа через обобщающее понятие и его уточнение, доопределение свойств или их значений.

Понятие потомок  $C_j(P_i, R_j) = H(C_j(P_i, R_i))$ , причем при наследовании происходит сокращение доменов значений  $D_{j,k} \subset D_{i,k}$ . У потомка наследуются свойства предка, однако могут добавляться дополнительные свойства, вырожденные у обобщающего понятия, и меняться связи с другими понятиями.

Особое место в системе потомков понятий занимает абстрактное понятие модель – специфический тип потомка, используемый для описания понятия. Построение модели сопряжено с упрощением описываемого явления (объекта или процесса), как правило, пренебрежением малыми факторами, линеаризацией, предположениями о структуре явления и т.п. При создании модели необходимо явно указать все используемые упрощения  $A_i$ :



$$C_j(P_j, R_j, A_j) = M(C_i(P_i, R_i, A_i)).$$

Для моделей характерно резкое сокращение числа свойств (не принимаются в рассмотрение все менее существенные свойства) и сужение доменов их значений. Продуктивность модели напрямую связана с ее простотой.

Основной проблемой построения системы понятий является отсутствие адекватных инструментов. Существующие на сегодняшний день системы построения онтологий (Protégé), системы Mind Mapping не могут удовлетворительно описать многообразие отношений и связей между понятиями. Более того, принятый WWW консорциумом стандарт описания онтологий не позволяет в принципе описать систему с предлагаемой алгеброй. Видятся два варианта построения системы понятий: упрощение алгебры до уровня OWL 2 DL или разработка собственной системы построения онтологий, учитывающей описанные особенности. новый файл или копировать и вставлять в него заранее приготовленный текст.

## Литература

- Лавуазье А.Л. Предварительное рассуждение из "начального учебника химии" // Успехи химии. – 1943. – Т. XII. – Вып. 5. – С. 359–367.
- Гулыга А.В. Немецкая классическая философия. – М.: Мысль, 1986. – 334 с.
- Мельников В.П. К созданию цельного образа криосферы. // Криосфера Земли. 2014. № 4.
- Мельников В.П., Геннадиник В.Б. Теоретический синтез в криологии в эпоху информационной революции. // Вестник ТюмГУ. 2014, №10, с.6-14.
- Мельников В.П., Геннадиник В.Б., Брушков А.В. Криософия. Криоразнообразие в природе. // Криосфера Земли. 2013. Т. 17. № 2. С. 3-11.
- Кулебакин В.С. (ред.) Как работать над терминологией. Основы и методы – М.: Наука 1968. – 76 с.
- Большой энциклопедический словарь: В 2-х т./ М.: Советская энциклопедия: Том 1. – 1991.– 863 с.  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Криосфера>



## Долговременные фазы многолетних изменений стока крупнейших рек Сибири

А.Г.Георгиади, Е.А.Кашутина  
Институт географии РАН

### Реферат

Анализируются особенности долговременных фаз многолетних изменений условно-естественного (восстановленного) и антропогенно-измененного (наблюденного) годового и сезонного стока Оби (Салехард), Енисея (Игарка) и Лены (Кюсюр) за период инструментальных наблюдений. Они были выделены на основе нормированных разностно-интегральных кривых. Показано, что начиная с 1930-1940-х годов до начала XXI века условно-естественный годовой и сезонный сток характеризовался двумя основными долговременными фазами изменений. Фаза снижения стока, начавшаяся в 1930-1940-х годах и продолжавшаяся несколько десятилетий, сменилась в 1970-1980-х годах долговременным повышением годового стока, стока половодья и зимы, что было сопряжено во времени с началом современного повышения температуры воздуха.

**Ключевые слова:** антропогенные воздействия; долговременные фазы изменений; климатические изменения; крупные реки; речной сток; Сибирь

### Long-Term Changes of Runoff for the Largest Siberian Rivers

A.G.Georgiadi, E.A.Kashutina  
Institute of Geography, RAS

### Abstract

The characteristics of long-term phases of multi-year changes for naturalized and observed annual and seasonal runoff of Ob' (Salekhard), Yenisei (Igarka) and Lena (Kyuusyur) for the period of instrumental observations were analyzed. It was identified on the basis of curves of cumulative sum of normalized runoff. It was shown that since 1930-1940-ies to the beginning of the XXI century naturalized annual and seasonal runoff was characterized by two main phases of long-term changes. Phase runoff decrease which began in 1930-1940's and lasted for several decades was replaced in the 1970-1980's long-term increase for annual runoff, runoff of flood and winter periods, which was associated with time of the beginning of air temperature increase.

**Key Words:** anthropogenic impact; climate changes; large rivers; long-term phases; river runoff; Siberia

### Введение

Сток крупнейших рек Сибирского сектора криолитозоны России (Оби, Енисея и Лены), дренирующих огромную территорию площадью около 8 млн. км<sup>2</sup>, характеризуется заметными долговременными (продолжительностью несколько десятилетий) фазами его повышения и снижения. Они сопряжены с соответствующими длительными тенденциями похолодания и потепления климата. На природно-обусловленные изменения стока накладываются антропогенные воздействия (связанные в основном с регулированием стока водохранилищами).

Вопросам оценки характеристик многолетних изменений стока Оби, Енисея и Лены посвящено достаточно много публикаций и, в особенности последней долговременной фазе потепления климата, начавшейся на рубеже 1970-1980-х годов и сопровождавшимся заметным ростом стока, в особенности зимнего. Исследовались главным образом линейные тренды изменений стока и оценивались различия стока до начала последнего потепления и после [Водные ресурсы... 2008, Георгиади Кашутина 2011,

2014, Георгиади и др. 2011, Georgiadi et al. 2008, Shiklomanov et al. 2013].

В настоящем исследовании основное внимание уделяется долговременным фазам изменений условно-естественного (восстановленного) годового и сезонного стока рек Оби (Салехард), Енисея (Игарка), Лены (Кюсюр) и влиянию на них антропогенных воздействий.

### Методические основы исследования

Подход к анализу долговременных фаз многолетних изменений годового и сезонного стока рек, обусловленных изменениями климата и антропогенных воздействий, основан на использовании разностно-интегральных кривых, восстановлении рядов условно-естественных годового и сезонного стока и сравнительном анализе долговременных фаз изменения условно-естественного (восстановленного) и антропогенно-измененного (фактического) стока. Он позволяет исследовать многолетнюю динамику вклада природно-климатических и антропогенных факторов в наблюдаемые изменения стока.

Границы сезонов были определены на основе годовых гидрографов стока, обобщающих данные за весь период наблюдений и сведений о среднемноголетних датах

начала и окончания половодья и ледостава. Зимний период приходится на период с ноября предшествующего года по апрель, весенне-летний период высокого стока – с мая по август.

### Разностно-интегральные кривые

Разностно-интегральные кривые используются для анализа долговременных фаз изменений и определения временных границ смены их направленности. Они используются гидрологами (реже климатологами) для изучения многолетних циклов изменения стока [Андреянов 1959, Кузин 1979].

Значения нормированной разностно-интегральной кривой рассчитываются по следующей формуле:

$$Cs_i = \sum (K_i - 1) / C_v$$

$$K_i = E_i / E_m,$$

где  $C_v$  – коэффициент вариации,  $E_i$  – значение элементы в  $i$ -й год,  $E_m$  – среднее многолетнее значение элемента,  $K_i$  – модульный коэффициент элемента,  $Cs_i$  – значения нарастающей суммы нормированных значений элемента.

### Методы восстановления речного стока

Для исследования долговременных фаз изменений условно-естественного (восстановленного) годового и сезонного стока использовались составные многолетние ряды этих характеристик. Первая часть ряда включала наблюдаемые многолетние данные по каждому из рассматриваемых створов, относящиеся к периоду до начала заметного воздействия антропогенных факторов (прежде всего водохранилищ). Вторая часть - состоит из многолетнего ряда восстановленных значений стока, т.е. «очищенные» от влияния антропогенных факторов.

Для восстановления стока использовались многолетние ряды восстановленного стока, полученные двумя методами. На основе метода рек-индикаторов изменений климатических условий восстанавливался годовой и сезонный сток [Георгиади и др. 2014]. Этот метод исходит из регрессионных связей между стоком главной реки и стоком рек-индикаторов (притоков), характеризующихся относительно слабо нарушенным водным режимом.

Были использованы также многолетние ряды среднесуточных расходов воды, восстановленные на основе метода трансформации гидрографа стока [Shiklomanov et al. 2011], в основе которого используется функция влияния Г.П. Калинин и П.И. Милюков [1958].

### Изменения температуры воздуха

Повсюду на водосборе Северного Ледовитого океана прослеживаются две относительно синхронные долговременные фазы изменений среднегодовой температуры воздуха. С 1940-х годов наблюдалась фаза ее снижения. А начиная с 1970-1980-х годов, отчетливо прослеживается многолетняя ветвь роста температуры воздуха, на которую накладываются изменения меньшей продолжительности. Аналогичная картина наблюдается и для годовых сумм атмосферных осадков, осредненных по их бассейнам.

## Долговременные фазы изменения стока

### Условно-естественный сток

В течение периодов инструментальных наблюдений (с 1930-1940-х годов до начала XXI века) для стока зимнего периода, весенне-летнего периода высокого стока и за год для всех рассматриваемых рек также характерны две долговременные фазы их изменения. Начало первой из них - фазы снижения указанных выше видов стока-приурочено к 1930-1940-м годам, а сменяющей ее фазы повышения стока к 1970-1980-е годам (что близко к началу современного глобального потепления климата), которая продолжается до настоящего времени (рис. 1).

Приведенные разностно-интегральные построены на основе многолетних рядов среднесуточных расходов воды восстановленных на основе метода трансформации годового гидрографа стока [Shiklomanov et al. 2011]. Отметим, что в большинстве случаев сходный характер имеют и разностно-интегральные кривые, полученные на основе метода рек-индикаторов (за исключением высокого стока Оби).

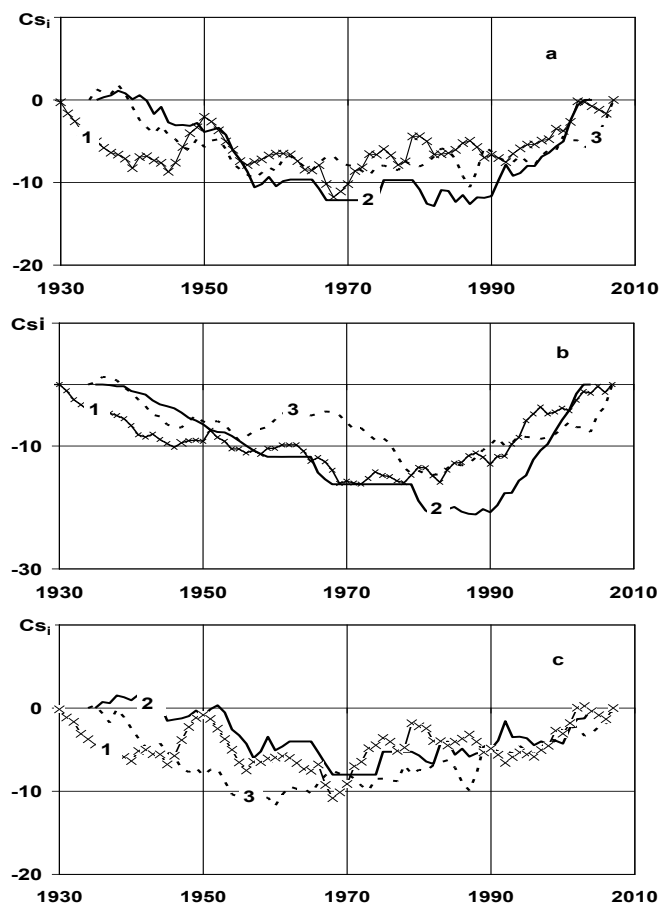


Рис. 1. Нормированные разностно-интегральные кривые многолетних изменений условно-естественного годового стока (а), зимнего стока (ноябрь-апрель) – (б) и высокого стока за весенне-летний период (май-август) – (с) Оби у Салехарда (1), Енисея у Игарки (2), Лены у Кюсюра (3).

Временная граница смены фаз изменений условно-естественного стока разной направленности заметно варьирует для разных видов стока как на одной реке, так

и от одной реки к другой (рис. 1). Их продолжительность также весьма различна и варьирует в широком диапазоне от 20 до 50 лет (табл. 1). При этом на Лене ФПС существенно короче ФСС для всех видов стока, а на Енисее для стока зимы и половодья. Тогда как на Оби для всех видов стока, а на Енисее для годового стока продолжительность ФПС и ФСС практически не отличается между собой.

Таблица 1. Долговременные фазы изменения условно-естественного годового и сезонного стока

Фазы повышения стока – ФПС, Фазы снижения стока – ФСС		Продолжительность долговременных фаз. Слева направо: фактического стока, восстановленного стока по методу индикаторов и по методу трансформации гидрографа		
		Обь, Салехард	Енисей, Игарка	Лена, Кюсюр
Годовой сток	ФПС	39/24/39	33/28/32	21/20/20
	ФСС	39/33/39	31/43/29	49/49/49
Высокий сток	ФПС	*	28/36/31	50/33/50
	ФСС	*	43/35/32	22/28/20
Зимний сток	ФПС	40/46/38	37/20/21	30/17/25
	ФСС	40/32/40	34/45/43	46/51/46

\*долговременные фазы не выделяются

Наибольших различий условно-естественный зимний сток за ФПС и ФСС достигает на Енисее (табл. 2). Тогда как разница годового стока и стока половодья в эти фазы наиболее заметна на Лене, хотя и на других реках она значительна.

### Эффекты антропогенного воздействия

Влияние антропогенных факторов сказывается на смещении на более ранние годы временной границы перехода фазы снижения зимнего стока к фазе его повышения (рис. 2). Оно особенно заметно на Енисее (смещение на 12 лет), но слабо проявляется на Лене и Оби (смещение на 3 года). Наибольшее антропогенное воздействие на долговременные фазы изменения половодья наблюдается на Енисее (рис.2) и проявляется оно в асинфазности изменений условно-естественного и фактического стока в последние несколько десятилетий, когда стало заметным влияние водохранилищ.

Антропогенные факторы существенно изменяют сток половодья и зимы в фазу их повышения и, как правило, слабо сказываются на всех видах стока во время фаз его снижения (табл. 2).

Антропогенные воздействия приводят к росту разницы зимнего стока в фазы его повышения и снижения (табл.2).

### Выводы

Представленные результаты показывают, что в течение периода инструментальных наблюдений (с 1930-1940-х годов до начала XXI века) для условно-естественного (восстановленного) годового и сезонного стока Оби, Енисея и Лены характерны две долговременные фазы их снижения и повышения, которые сопряжены с

соответствующими климатическими изменениями. Их продолжительность различна и изменяется от 20 до 50 лет.

Годовой и сезонный сток в течение фаз их повышения и снижения заметно отличается друг от друга. Наибольших различий условно-естественный зимний сток между указанными фазами наблюдается на Енисее. Разница годового стока и стока половодья в эти фазы наиболее заметна на Лене, хотя и на других реках она значительна.

Антропогенные факторы существенно изменяют сток половодья и зимы в фазу их повышения и, как правило, слабо сказываются на всех видах стока во время фаз их снижения.

Наиболее заметные антропогенные изменения характеристик долговременных фаз происходят на Енисее, что проявляется в смещении границы смены фаз на более ранние годы, асинхронности фаз фактического и условно-естественного стока половодья, в заметном сокращении продолжительности фазы снижения стока и увеличению продолжительности фазы повышения стока.

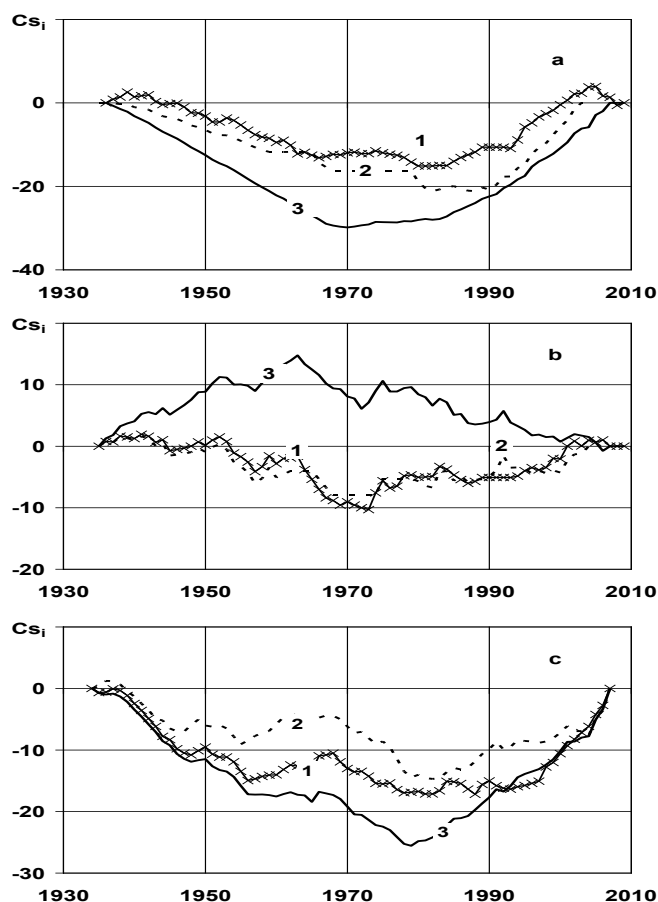


Рис. 2. Нормированные разностно-интегральные кривые условно-естественного, полученного на основе восстановления многолетних рядов, стока по методу рек-индикаторов (1) и по методу трансформации гидрографа стока (2), антропогенно-измененного (3) стока Енисея за зимний период (а) и период с высоким весенне-летним стоком (б); стока Лены за зимний период (с)

Таблица 2. Средний многолетний сток в долговременные фазы повышения и снижения условно-естественного и антропогенно-измененного стока

Долговременная фаза	Обь, Салехард			Енисей, Игарка			Лена, Кюсюр		
	Антропогенно-измененный сток	Условно-естественный сток, восстановленный		Антропогенно-измененный сток	Условно-естественный сток, восстановленный		Антропогенно-измененный сток	Условно-естественный сток, восстановленный	
		По методу рек-индикаторов	По методу трансформации гидрографа		По методу рек-индикаторов	По методу трансформации гидрографа		По методу рек-индикаторов	По методу трансформации гидрографа
Годовой сток									
ФПС	412	426	419	606	600	615	572	561	568
ФСС	385	361	382	560	578	571	517	514	517
Высокий весенне-летний сток									
ФПС	294	-	277	416	433	433	399	408	412
ФСС	259	259	257	382	411	412	369	378	375
Зимний сток									
ФПС	80	75	76	133	83	101	52	41	39
ФСС	66	65	64	76	75	71	34	33	32

### Благодарности

Исследования проводились в рамках проекта «Долговременные изменения стока воды, тепла, взвешенных наносов и химических веществ в бассейнах крупных рек Российского сектора водосбора Северного Ледовитого океана» Программы фундаментальных исследований президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации» и поддержаны РФФИ, грант 14-05-00761.

### Литература

- Андреев В.Г. 1959. Циклические колебания годового стока и их учет при гидрологических расчетах // Тр. ГГИ. “Вопросы расчетов стока”. Вып. 68. – Л.: Гидрометеиздат. 1959. С. 3–50.
- Водные ресурсы России и их использование. 2008./ Под ред. Шикломанова И.А. – СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. 600 с.
- Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. 2011. Региональные особенности временных изменений притока речных вод в Северный ледовитый океан // Вклад России в международный полярный год 2007/08. Полярная криосфера и воды суши. – М.-СПб; Изд-во Paulsen. 2011. С. 252-264.
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милокова И.П., Кислов А.В., Анисимов О.А., Барабанова Е.А.,

Кашутина Е.А., Бородин О.О. 2011. Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 1. Бассейн реки Лены. – М.: Макс Пресс, 2011. 179 с.

- Калинин Г.П., Милоков П.И. 1958. Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс // Труды ЦИП, Вып. 66. – Л.: Гидрометеиздат. 72 с.
- Кузин П.С., Бабкин В.И. 1979. Географические закономерности гидрологического режима рек. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. 200 с.
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P. & Kashutina E.A. 2008. Recent and Projected River Runoff Changes in Permafrost Regions of Eastern Siberia (Lena River Basin) // Ninth International Conference on Permafrost. Institute of Northern Engineering. University of Alaska Fairbanks. 2008. P. 511-515.
- Shiklomanov A.I., Golovanov O.; Lammers R. B.; Tretjyakov M. & Yang, D. 2011. American Geophysical Union, Fall Meeting 2011, abstract #C31B-06
- Shiklomanov A.I., Lammers R.B., Lettenmaier D.R., Polischuk Yu. et al. 2013. Hydrological Changes: Historical Analysis, Contemporary Status, and Future Projections // Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences. Chapter 4. Springer Environmental Science and Engineering / Eds. Groisman P.Ya and Gutman G. © Springer Science+Business Media Dordrecht, 2013. P. 111-154.

## Обзор энтомофауны окрестностей села Батово Ханты-Мансийского автономного округа.

А.Г.Герасимов, А.А.Герасимова  
 Институт проблем освоения севера СО РАН (ИПОС СО РАН), Тюмень,  
 А.М.Субботин  
 Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень  
 Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень

### Реферат

Сбор материала производился в ходе пеших маршрутов в окрестностях села Батово в 2012 г. По итогам исследования было выявлено 70 видов, относящихся к 22 семействам из 4 отрядов насекомых. При обработке сборов был отмечен один вид бабочек, занесенный в Красную книгу ХМАО – махаон (*P. machaon*).

**Ключевые слова:** насекомые; обзор; отряды; сбор; экземпляр.

### Overview of the Insect Fauna surrounding Villages Batovo Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug .

A.G.Gerasimov, A.A.Gerasimova  
 Institute of problems of development of the north of the SB RAS, Tyumen, Russia  
 A.M.Subbotin  
 Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia  
 Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia

### Abstract

Collection of material produced during the hiking trails in the vicinity of the village Batovo in 2012. As the result of the study it was found 70 species belonging to 22 families of 4 orders of insects. At this work it was awarded one species listed in the Red Book of Khanty-Mansiysk - Swallowtail (*P. machaon*).

**Keywords:** insects ; the review; detachments ; collection ; instance.

### Введение

Насекомые – класс беспозвоночных членистоногих животных. Согласно традиционной классификации относятся к подтипу трахейнодышащих.

По состоянию на 2013 год учёными описан 1070781 вид насекомых. По оценкам общая численность насекомых находится в пределах от примерно 2 млн. до около 8 млн. видов [Клюге 2000]. Каждый год описывается не менее 7000-7500 новых для науки видов. В настоящее время выделяются 5 наиболее многочисленных отрядов: жесткокрылые (более 390 тыс. видов), двукрылые (более 160 тыс. видов), чешуекрылые (около 160 тыс. видов), перепончатокрылые (около 155 тыс. видов) и полужесткокрылые или клопы (около 105 тыс. видов) [Raven & Yeates 2007].

Насекомые очень разнообразны, и большинство их видов плохо изучено, поэтому истинная оценка количества существующих видов является очень затруднительной. Некоторые из описанных видов известны по находкам только из одной местности или даже по единственному экземпляру. Энтомофауна данной территории известна по единичным сборам и

мало изучена, поэтому представляют интерес дальнейшие исследования насекомых данного региона.

### Характеристика района исследований

Согласно геоботаническому районированию окрестности села Батово Кондинского района ХМАО входят в подзону средней тайги.

Среднетаежный пойменный ландшафт на западе и востоке граничит с террасами и коренным берегом, на юго-востоке – с южнотаежной подзоной, на юге, занимая приустьевую часть поймы Иртыша, граничит с нижнеиртышским южнотаежным пойменным ландшафтом (несколько севернее устья реки Конда). Граница с северотаежной территорией проходит немного южнее пос. Березово.

В геоморфологическом отношении пойма этого района – возвышенная глинисто-гравистая долгопойменная с наложенным процессом прогрессивного расчленения на отдельные массивы протоками второго порядка.

Климат на территории района резко континентальный. Средняя температура января минус -20...-22°C, июля – +17...18°C, среднегодовая -1...4°C, средняя температура наиболее холодной пятидневки минус 37°C.





Изменение растительного покрова выражается в обеднении флористического состава как древесно-кустарниковых, так и травянистых группировок, несколько изменяется их местоположение в рельефе, сокращается площадь под древесными, особенно мелколиственными группировками.

В целом на данной территории преобладает мелколиственно-ивняково-луговое сообщество [Гвоздецкий 1973].

### Методика исследования

Сбор материала производился в ходе пеших маршрутов в окрестностях села Батово в 2012 г. В зависимости от жизненных форм насекомых применялись различные методы сбора (энтомологическим сачком, отряхивание ветвей, кошение и др.). Также, учитывая различную суточную активность насекомых, отлов производился и в ночное время суток [Захваткин 2001].

Все собранные виды для дальнейшего изучения обезжизнялись и помещались на ватные матрасики. В лабораторных условиях происходила дальнейшая камеральная обработка (расправление, определение).

Необходимым условием для определения многих насекомых является изготовление препаратов гениталий. Обычно, для исследования гениталий брюшко отделяют целиком. Этим предотвращается потеря мелких препаратов; кроме того, на сегментах брюшка могут присутствовать образования, способствующие определению (андрокони, морфологические структуры). Вываривание проводилось в 15%-м растворе едкого калия (КОН) в течение 1-2 мин. до прозрачного состояния. Лучше, однако, не варить брюшко до полной прозрачности – остатки тканей и жировое тело можно разрушить препаративными иглами под бинокляром, сохраняя целостность брюшка, после чего для просветления препарата хватает двух-, трёхкратного вскипания. Рассматривали препараты в глицерине [Бей-Биенко 1980].

Так как не стоит задача количественного исследования фауны, то каждого вида отбирается по несколько экземпляров.

### Результаты исследования

В ходе исследования было выявлено 70 видов, относящихся к 22 семействам из 4 отрядов насекомых.

#### Отряд Стрекозы (Odonata)

Семейство Стрекозы (Libellulidae)

Стрекоза кровяная – *Sympetrum sanguineum* (Müll.)

#### Отряд Жесткокрылые (Coleoptera)

Семейство Жужелицы (Carabidae)

Птеростих обыкновенный – *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798)

Быстряк шеститочечный – *Agonum sexpunctatum* (L., 1758)

Жужелица зернистая – *Carabus granulatus* (L., 1758)

Скакун лесной – *Cicindela silvatica* (L., 1758)

Скакун полевой – *Cicindela campestris* (L., 1758)

#### Семейство Мертвоеды (Silphidae)

Мертвояд ребристый – *Silpha carinata* (Herbst, 1783)

Трупояд черный – *Nicrodes littoralis* (L., 1758)

Могильщик-погребатель – *Nicrophorus vespilloides* (Herbst, 1784)

#### Семейство Пестряки (Cleridae)

Пчеложук обыкновенный – *Trichodes apiarius* (L., 1758)

#### Семейство Златки (Buprestidae)

Златка сосновая синяя – *Pheanops cyanea* (Fabricius, 1775)

#### Семейство Коровки (Coccinellidae)

Коровка семиточечная – *Coccinella septempunctata* (L., 1758)

Коровка пятиточечная – *Coccinella quinquepunctata* (L., 1758)

#### Семейство мохнатки (Lagriidae)

Мохнатка обыкновенная – *Lagria hirta* (L., 1758)

#### Семейство Шипоноски (Mordellidae)

Шипоноска короткохвостая – *Mordellistena brevicaudata* (Boheman, 1849)

#### Семейство Усачи (Cerambycidae)

Клит осиновый – *Xylotrechus rusticus* (L., 1758)

Лептура зеленая – *Lepturobosca virens* (L., 1758)

Лептура черноногая – *Lepturalia nigripes* (De Geer, 1775)

Лептура четырехполосая – *Leptura quadrifascita* (L., 1758)

Юдолия хвойная – *Judolia sexmaculata* (L., 1758)

#### Семейство Хрущи (Scarabaeidae)

Навозник лесной – *Geotrupes stercorosus* (Scriba, 1791)

Навозник обыкновенный – *Geotrupes stercorarius* (L., 1758)

Хрущ майский восточный – *Melolontha hippocastani* (Fabricius, 1801)

Бронзовка вонючая – *Oxythyrea funesta* (Poda, 1761)

Бронзовка золотистая – *Cetonia aurata* (L., 1758)

Бронзовка медная – *Potosia cuprea* (Fabricius, 1775)

#### Отряд двукрылые (Diptera)

##### Семейство Журчалки (Syrphidae)

Шмелевидка прозрачная – *Vollucella pellucens* (L.)

Журчалка цветочная – *Myiatropa florea* (L.)

Журчалка осовидная – *Temnostoma vespiforme* (L.)

Журчалка северная – *Cinxia borealis* (Flin.)

Ильница – *Tubifera pendula* (L.)

#### Отряд Бабочки (Lepidoptera)

##### Семейство Парусники (Papilionidae)

Махаон – *Papilio machaon* (L.)

##### Семейство Белянки (Pieridae)

Желтушка торфяниковая – *Colias palaeno* (L.)

Брюквенница – *Pieris napi* (L., 1758)

Репница – *Pieris rapae* (L., 1758)

##### Семейство Нимфалиды (Nymphalidae)

Крупноглазка – *Pararge aethina* (Sc.)

Перламутровка ино – *Brenthis ino* (Rott.)

Переливница ивовая – *Apatura iris* (L.)

Желтушка торфяниковая – *Colias palaeno* (L.)

Крапивница – *Vanessa urticae* (L.)

Перламутровка аглая – *Mesoacidalia aglaja* (L., 1758)

##### Семейство Настоящие моли (Tineida)

*Scardia boletella* (Fabricius, 1794)  
 Семейство Листовертки (*Tortricidae*)  
*Phtheochroa inopiana* (Haworth, 1811)  
*Acleris logiana* (Clerck, 1759)  
*Agapeta hamana* (Linnaeus, 1758)  
*Eana argentana* (Clerck, 1759)  
*Choristoneura diversana* (Hübner, 1817)  
*Archips rosana* (Linnaeus, 1758)  
*Epiblema foenella* (Linnaeus, 1758)  
*Syricoris rivulana* (Scopoli, 1763)  
 Окончатые Мотыльки (*Thyrididae*)  
*Thyris fenestrella* (Scopoli, 1763)  
 Семейство Пальцекрылки (*Pterophoridae*)  
*Platyptilia pallidactyla* (Haworth, 1811)  
*Amblyptilia punctidactyla* (Haworth, 1811)  
 Семейство Огневки (*Pyalidae*)  
*Lamoria anella* (Denis & Schiffermüller, 1775)  
*Pyalis regalis* (Denis & Schiffermüller, 1775)  
*Pyla fusca* (Haworth, 1811)  
*Dioryctria abietella* (Denis & Schiffermüller, 1775)  
*Anerastia lotella* (Hübner, 1813)  
*Chilo phragmitella* (Hübner, 1805)  
*Calamotropha paludella* (Hübner, 1824)  
*Chrysoteuchia culmella* (Linnaeus, 1758)  
*Catoptria pinella* (Linnaeus, 1758)  
*Schoenobius gigantella* (Denis & Schiffermüller, 1775)  
*Evergestis extimalis* (Scopoli, 1763)  
*Opsibotys fuscalis* (Denis & Schiffermüller, 1775)  
*Ostrinia nubilalis* (Hübner, 1796)  
*Sitochroa verticalis* (Linnaeus, 1758)  
 Семейство Пестрянки (*Zygaenidae*)  
*Zygaena osterodensis* (Reiss, 1921)  
 Семейство стеклянницы (*Sesiidae*)  
*Sesia apiformis* (Clerck, 1759)

Семейство Древооточцы (*Sessidae*)  
*Phragmataecia castaneae* (Hübner, 1790)

Некоторые таксоны были отмечены единичными представителями (семейства Златки, Пестряки и др.). В ходе исследования был отмечен один вид, занесенный в Красную книгу ХМАО – махаон (*P. machaon*). В процессе сборов нами были отмечены далеко не все из ранее описанных представителей насекомых данного района исследования. Это объясняется хронологической и географической ограниченностью сбора представителей энтомофауны окрестностями села Батово, которые являются небольшой территорией Кондинского района.

## Литература

- Клюге Н. Ю. Принципы номенклатуры зоологических таксонов // Современная систематика насекомых. — СПб: Лань, 2000. — 333 с.
- Raven P. H., Yeates D. K. Australian biodiversity: threats for the present, opportunities for the future // Australian Journal of Entomology. — 2007. — Vol. 46. — P. 177—187
- Гвоздецкий Н.А. Физико-географическое районирование Тюменской области. / Н.А. Гвоздецкий – Издательство Московского университета, 1973. – 246 с.
- Захваткин Ю. А. Курс общей энтомологии. — М.: Колос, 2001. — 376 с.
- Росс Г., Росс Ч., Росс Д. Энтомология. — М.: Мир, 1985. — 572 с.
- Бей-Биенко Г. Я. Общая энтомология: учеб. для ун-тов и сельхозвузов. — 3-е изд., доп. — М.: Высш. шк., 1980. — 416 с.



## Исследование сухих выпадений в арктических широтах в 2013 г.

Л.П.Голобокова, Т.В.Ходжер, Н.А.Онищук  
Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

Вас.В.Полькин, Вик.В.Полькин, С.М.Сакерин  
Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск  
В.Ф.Радионон

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург

### Реферат

Представлены результаты исследования химических характеристик водорастворимой фракции аэрозоля (ионы, элементы) и малых газообразных примесей, а также оценки их вертикальных потоков в акваториях арктических и Дальневосточных морей, прилегающих к России, по маршрутам рейсов НЭС «Академик Федоров» и УПС «Профессор Хлюстин» в июле-сентябре 2013 г. Показано, что основное поступление веществ из атмосферы на морскую поверхность осуществляется с газовыми примесями 75-89%. На долю осаждающихся ионов приходится от 11 до 24,5%, растворимых микроэлементов – 0.2-0.4%. Средние вертикальные потоки веществ с аэрозолями над акваториями арктических морей в 4-7 раз ниже, чем в Японском море.

**Ключевые слова:** аэрозоль; Арктика, Дальневосточные моря; малые газовые примеси; химический состав

### Investigation of Dry Deposition in the Arctic in 2013

L.P.Golobokova, T.V.Khodzher, N.A.Onischuk  
Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

Vas.V.Polkin, Vik.V.Polkin, S.M.Sakerin  
V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia  
V.F.Radionov

Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute", St.Petersburg, Russia

### Abstract

In this work it was presented the results of the research of chemical characteristics of the water-soluble fraction of aerosol (ions, elements) and gaseous impurities. It was calculated their vertical flows in the water areas of the Arctic and Far Eastern seas adjacent to Russia, the routes RV "Akademik Fedorov" and RV "Professor Khljustin" in July-September 2013. The main flow of substances was carried out from atmosphere to the sea surface with gas impurities of 75-89%. The share of precipitating ions totaled from 11 to 24.5%, soluble micronutrients - 0.2-0.4%. The average vertical flows substances with aerosols were less 4-7 times than in the Sea of Japan.

**Key Words:** aerosol; Arctic; Sea Far East Russia; gaseous impurities; chemical composition

### Введение

Одним из наиболее динамичных компонентов воздушной среды является аэрозоль, который играет важную роль в процессах переносов вещества в системе «континент-атмосфера-океан». Исследования различных авторов показали, что в арктических широтах перенос вещества в составе аэрозоля по атмосферному каналу является вторым по значимости, после стока рек [Шевченко 2006; Rahn 1981]. Под влиянием атмосферных циркуляций происходит обогащение арктической атмосферы аэрозолями различного типа – дымовым (лесные пожары), промышленным, сульфатным, органическим и др. Осаждение поглощающего аэрозоля приводит к уменьшению альбедо снежной поверхности, повышению температуры, таянию льда и снега – то есть, именно к тем процессам, роль которых меньше всего изучена в настоящее время.

Не меньшее внимание уделяется исследованиям малых газовых компонент атмосферы [Duce 1991; Redington *et al.* 2002], содержание которых возросло из-за промышленной деятельности, и, по мнению многих экспертов, является основной причиной глобального потепления. Освоение Арктического шельфа и Северного морского пути обуславливает необходимость иметь более полную информацию о современном состоянии арктической атмосферы и в дальнейшем контролировать её динамику.

### Материалы и методы

Рассматривается исследование химического состава сухих выпадений атмосферы (атмосферный аэрозоль, газообразные примеси) по маршруту Северного морского пути от Архангельска до Владивостока в 2013 г. в двух арктических рейсах научных судов НЭС «Академик Федоров» и УПС «Профессор Хлюстин». Маршрут НЭС «Академик Федоров» проходил, преимущественно в широтном направлении – от Архангельска до Киркенеса



по Белому и Баренцеву морю, затем по Северному ледовитому океану (СЛО) до северо-восточных окраин моря Лаптевых и обратно с 17 августа по 22 сентября. Маршрут УПС «Профессор Хлюстин» пролегал в меридиональном направлении от Владивостока до Берингова пролива и затем на запад до порта Певек (Восточно-Сибирское море) и обратно с 24 июля по 7 сентября.

Отбор проб аэрозоля, газообразных примесей и их химический анализ производился согласно рекомендациям, принятым в международных сетях мониторинга атмосферных выпадений [Исследование радиационных... 2012].

### Химический состав сухих выпадений по маршруту НЭС «Академик Федоров»

Для анализа химического состава аэрозоля были выделены четыре района по маршруту судна. Первый – это акватория Баренцева моря (район 1), в котором были получены и проанализированы два фильтра – на пути вперед и обратно. Более детально рассмотрены данные в высокоширотной части маршрута: СЛО (севернее архипелагов Северная Земля и Земля Франца-Иосифа, 81-84°N, 68-111°E) – район 2; восточная часть моря Лаптевых (77-80°N, 107-126°E) – район 3; северо-восточные окраины моря Лаптевых (78-81°N, 127-155°E) – район 4.

Максимальное суммарное содержание ионов в атмосферном аэрозоле наблюдалось в море Лаптевых (3), минимальное – над акваторией Баренцева моря (1). Средняя величина суммы ионов – 1.71 и 0.61  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , соответственно. Несмотря на относительно большие вариации концентраций ионов, на всем маршруте отмечалось преобладание морской составляющей – ионов натрия и хлоридов. Их доля была максимальна и составила 22-33% от общей суммы ионов для натрия и около 43% для хлоридов. Для других ионов, по мере убывания концентраций, проявилась следующая последовательность:  $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+, \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$ .

Для определения природы происхождения химического состава аэрозоля по известным формулам, был проведен расчет доли морских (ss-) и неморских (nss-) сульфатов и ионов кальция [Исследование радиационных... 2012]. За весь период измерений среднее содержание ss- $\text{SO}_4^{2-}$  составило около 80 % от общей концентрации сульфатов в аэрозоле. Максимальная средняя доля ss- $\text{Ca}^{2+}$  достигала 48 % от общей концентрации кальция. Оценить вклад различных источников в формировании химического состава аэрозоля позволяет коэффициент обогащения, который рассчитывается по формуле:

$$K_i = [C_i(\text{Na}^+)_{\text{aer}}] / [C_i(\text{Na}^+)_{\text{sw}}].$$

где  $C_i(\text{Na}^+)$  – концентрация i-того элемента относительно  $\text{Na}^+$ ,  $K$  – коэффициент обогащения.

Значительное превышение  $K$  свидетельствует о континентальном происхождении некоторых элементов в исследуемом районе. Максимальное обогащение аэрозоля, особенно калием (до 18 раз), наблюдалось 23-24.08.13 на северных окраинах Карского моря (в районе

островов Северной Земли). В эти дни воздушные массы поступали с севера Красноярского края и Северной Земли. В среднем обогащение калием составило 2.5, кальцием – 3.1. Обогащение аэрозольных частиц хлоридами и сульфатами выражено слабее – в 1.2 и 1.3 раза, соответственно.

Проведен анализ элементного состава водорастворимой фракции аэрозоля, который показал, что доля микроэлементов изменялась в пределах 0.3 – 9.9 % от общего числа растворимых неорганических компонентов. Результаты характеризовались широким разнообразием и большим диапазоном вариаций концентраций, достигающим четырех-пяти порядков величины. По содержанию элементов выделены три группы: 1) с концентрациями от десятков до десятых долей  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ , 2) от десятых до сотых долей  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ , 3) от тысячных долей до аналитического нуля. К первой группе относятся Fe, Zn, Al, Ba – металлы преимущественно терригенного происхождения, а также Cu и Sr. В сумме они составили 93.4% от всех проанализированных микроэлементов. Во вторую группу вошли Ni, Cd, Cr, Se, Pb, V, Mo (5.6 % от общего состава), которые, в большинстве, являются маркерами антропогенного загрязнения. Третью группу представили Ti, Co, Sb, Li, As, U (0.6 %). Элементы этой группы поступают как от естественных, так и от антропогенных источников. Вклад растворимых компонентов в составе аналогичных элементов твердой фракции аэрозоля [Горюнова Шевченко 2008] составил в среднем 4-15 % для щелочно-земельных компонентов, 1-5 % для Sb, As, Co, Sr, доля Ni достигала 15 %.

Аналогично основным ионам в аэрозоле были рассчитаны коэффициенты обогащения концентраций элементов. Высокая интенсивность обогащения выявлена для пяти элементов – Fe, Zn, Cu, Cd, Cr. В отдельных пробах прослеживалось частичное обогащение аэрозольных частиц элементами Al, Fe, Ni, Se, Ti, Sb. Из этих элементов наиболее распространенными в земной коре являются Fe, Al, Ti.

Существенное влияние на формирование химического состава атмосферы оказывают малые газовые примеси. Их наименьшее содержание наблюдалось в атмосфере Баренцева моря. Нельзя исключить, что проявившееся значимое отличие концентраций ионов, элементов и газообразных примесей в атмосфере Баренцева моря (в сравнении с более северными районами) могло быть обусловлено малым числом аэрозольных проб.

Высокое суммарное содержание газообразных примесей в атмосфере зарегистрировано в северной и восточной частях маршрута (районы 2 и 4). Среди отдельных газов максимальные концентрации у диоксида серы. В морских акваториях его основными источниками являются испарение морской воды, генерация водородными диметилсульфида и газофазные превращения в атмосфере. В составе атмосферы находятся также азотсодержащие газы, участвующие, как и диоксид серы в кислотной седиментации. В отличие от диоксида серы наиболее высокие концентрации  $\text{HNO}_3$  наблюдались в районе 3. Кроме  $\text{SO}_2$  и  $\text{HNO}_3$  в атмосфере

исследованных районов присутствует соляная кислота (HCl), образование которой происходит в результате вытеснения более сильными кислотами (MSA, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) из NaCl. Основным поставщиком аммиака (NH<sub>3</sub>) в атмосферу является биологическое разложение морских органических продуктов.

На основе полученных данных были проведены оценки вертикальных потоков водорастворимых веществ на морскую поверхность. В расчетах потоков использовались известные по литературным данным скорости сухого осаждения для арктической атмосферы в летний период –  $3.4 \cdot 10^{-4} \text{ m s}^{-1}$ , средняя геометрическая скорость сухого осаждения –  $1.9 \cdot 10^{-3} \text{ m s}^{-1}$  для открытого моря [Nilsson Rannik 2001] и скорость осаждения крупных (более 1 мкм) частиц –  $2 \cdot 10^{-2} \text{ m s}^{-1}$  для прибрежных районов [Duce et al. 1991]. Потоки веществ, поступающие из атмосферы с различными ионами находились для суммы Cl, Na, K, Mg, Ca, N, S. Азот был пересчитан в сумму из нитратов и ионов аммония, сера из сульфатов. Потоки микроэлементов рассчитывались для суммы концентраций Al, Ti, V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd, Sb, Pb, Ba, Be, B, Li, Mn, Sr. Для веществ, поступающих с газообразными примесями, брали сумму концентраций элементов Cl, N, S, рассчитанных из газообразных соединений HCl, (HNO<sub>3</sub>+NH<sub>3</sub>) и SO<sub>2</sub>, соответственно. Результаты расчетов показывают, что максимальное поступление веществ на поверхность арктических морей происходит с газообразными примесями. В среднем, по данным всей экспедиции на долю осаждаемых ионов приходилось около 24.5%, микроэлементов – 0.4%, газообразных примесей – 75% от общего количества водорастворимых веществ, поступающих из атмосферы.

### Химический состав сухих выпадений по маршруту УПС «Профессор Хлюстин»

Исследование химического состава аэрозоля, отобранного в рейсе УПС «Профессор Хлюстин», проводилось для атмосферы Дальневосточных морей – Японского, Охотского, Берингова, Чукотского и Восточно-Сибирского. Два последних моря относятся к арктическим морям. Авторы для краткости использовали общее название морей. Исследования показали, что различие средних концентраций ионов в аэрозоле наблюдается не только между отдельными морями, но и в одинаковых районах на прямом и обратном маршрутах судна. Наибольшей изменчивостью отличаются ионы Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. В общей сумме ионов и в их отдельном содержании хорошо прослеживается закономерность широтного распределения концентраций. По мере движения судна от низких широт к высоким суммарная концентрация ионов в приводном аэрозоле уменьшилась примерно на 30%. Немного меньший градиент (снижение на ~13%) наблюдался на переходе «Охотское-Берингово» моря. На обратном маршруте судна закономерность широтного роста не проявилась. Основная причина состоит в том, что в составе аэрозоля существенно (в 2-9 раз) увеличился вклад ионов морского происхождения – Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и Cl<sup>-</sup>, генерация

которых была обусловлена более высоким волнением морской поверхности.

Суммарное содержание микроэлементов составило 8.8-107.1 ng·m<sup>-3</sup>. Их доля над различными морскими акваториями менялась от 0.1 до 25% от общего числа неорганических компонентов. Наиболее высокая доля микроэлементов содержалась в аэрозоле, отобранном над Охотским и Чукотским морями. По величине концентраций микроэлементов можно выделить три группы: 1) Zn, Cu, Al, Fe, Ba, Mn, Sr, V, Ni; 2) Pb, Se, Cr, Cd, Sb, Li; 3) As, Ti, Mo, Co, Be. Несмотря на некоторые отличия, распределение элементов по концентрациям в составе аэрозоля над Дальневосточными морями близко к данным, полученным в арктическом рейсе.

Коэффициенты обогащения микроэлементов указывают на наибольшую интенсивность обогащения для семи элементов – Zn, Cu, Al, Fe, Mn, Cr, Cd. По интенсивности загрязнения аэрозоля этими элементами исследуемые моря можно расположить в следующей последовательности: Охотское, Чукотское, Японское, Берингово, Восточно-Сибирское. Важная роль в формировании уровня загрязнения атмосферного воздуха принадлежит процессам трансграничного переноса взвешенных частиц и загрязнителей из сопредельных территорий [Виноградова Пономарева 2007]. Максимальное обогащение, достигающее трех-четырех порядков, выявлено для Zn и Cr. Самые большие загрязнения атмосферы Zn наблюдались над акваториями Охотского (K= 36÷1204) и Чукотского морей (K= 23÷1127). Над другими морями коэффициенты обогащения Zn изменялись в пределах двух порядков (K= 10÷97). Максимальное загрязнение соединениями Cr найдено в атмосфере Берингова моря (K=10÷1143), значительно ниже в атмосфере Японского моря – K=73÷181, Охотского – K=90÷224, Чукотского – K=21÷106, Восточно-Сибирского – K=77.

Высокое обогащение для Cu (два-три порядка) выявлено над акваториями всех Дальневосточных морей (K= 13÷351), для Cd – над Охотским (K= 15÷305) и Чукотским морями (K= 10÷171), для Al – над Охотским морем (K= 42÷328). Заметим, что Cu и Cd являются, в основном, маркерами антропогенной эмиссии, а Al в большей степени свидетельствует о терригенном поступлении частиц в атмосферу. Отмечено обогащение аэрозольных частиц марганцем и железом.

В пространственно-временной изменчивости газообразных примесей в начале рейса наблюдался существенный спад средних концентраций HCl, SO<sub>2</sub> и HNO<sub>3</sub> при переходе от теплых морей (Японское, Охотское) к арктическим (Чукотское и Восточно-Сибирское). Средние концентрации HCl уменьшились с ~25 до 2.7-6.2 μg·m<sup>-3</sup>, SO<sub>2</sub> – с 0.7-0.8 до ~0.1 μg·m<sup>-3</sup>, HNO<sub>3</sub> – с ~0.7 μg·m<sup>-3</sup> до аналитического нуля. На обратном маршруте широтного изменения концентраций газообразных примесей при переходе от северных морей к южным не проявилось, по-видимому, из-за специфики погодных условий. Однако погодные условия не повлияли на концентрацию NH<sub>3</sub>, которая на большей части маршрута, как в прямом, так и обратном

направлении характеризовалась низким и примерно одинаковым уровнем  $0.03-0.05 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Совместный анализ вариаций концентраций  $\text{SO}_2$  и MSA показал наличие высокой взаимосвязи с коэффициентом корреляции 0.77. Это может свидетельствовать о продуцировании  $\text{SO}_2$  вследствие окисления DMS. Отмечено, что над Дальневосточными морями концентрация газообразной HCl в несколько раз выше, а концентрации  $\text{SO}_2$  и  $\text{NH}_3$  – в несколько раз ниже, чем над поверхностью морей арктического рейса.

По аналогии с данными экспедиции НЭС «Академик Федоров» проведены расчеты вертикальных потоков осаждения химических веществ на водную поверхность Дальневосточных морей. Полученные результаты показали, что, как и над арктическими морями, поступление веществ, в основном, осуществляется с газовыми примесями. Их относительный вклад составляет 77-89% от общей суммы осаждающихся водорастворимых веществ. На долю осаждающихся ионов с аэрозолем приходится от 11 до 23%, микроэлементов – 0.2-0.4%. Самые большие потоки аэрозольного вещества наблюдались над акваторией Японского моря. Его осаждение на поверхность Восточно-Сибирского моря примерно в 4 раза меньше.

Сравнение с данными в удаленных районах СЛО свидетельствует о большем осаждении примесей в прибрежных акваториях Чукотского и Восточно-Сибирского морей. Несмотря на отсутствие развитой промышленности на Чукотке, близость континента влияет на формирование химического состава атмосферы и величину потоков на прилегающие моря.

### Заключение

Исследования 2013 г. На НЭС «Академик Федоров» и «Профессор Хлюстин», охватывают большую часть Северного морского пути от Баренцева моря до Японского. В большей степени характеристики аэрозоля в периоды измерений определялись спецификой гидрометеорологических условий. Тем не менее, подчеркнем важность получения новой информации химического состава аэрозоля в труднодоступных и малоисследованных регионах планеты.

По результатам химического анализа проб, отобранных в рейсах, выявлено, что на формирование химического состава аэрозоля в удаленных районах СЛО наибольшее влияние оказывает морской фактор. В Дальневосточных морях в акваториях Японского, Охотского и Восточно-Сибирского морей проявилось влияние континентальных источников.

По массовой доле микроэлементов в составе аэрозоля в обоих рейсах выделены три схожие группы элементов. Основной вклад вносят элементы преимущественно терригенного происхождения – Fe, Zn, Al, Ba, Cu и Sr. Вторую группу представляют, в основном, элементы антропогенного происхождения – Ni, Cd, Cr, Se, Pb, V и Mo. Самый малый вклад в состав аэрозоля вносят элементы смешанного происхождения (от естественных и антропогенных источников) – Ti, Co, Sb, Li, As. Для Сибирского сектора Арктики выявлена высокая

интенсивность обогащения аэрозоля элементами Fe, Zn, Cu, Cd, Cr. В Дальневосточном регионе максимальные коэффициенты обогащения, достигающие 3-4 математических порядков, определены для Zn и Cr над акваториями Охотского и Чукотского морей. Над другими акваториями коэффициенты обогащения для Zn составили 2-3 порядка. Максимальное загрязнение соединениями Cr найдено в атмосфере Берингова моря.

Поступление веществ из атмосферы на водную поверхность Дальневосточных морей, как и в арктическом бассейне, осуществляется, в основном, с газовыми примесями. Их относительный вклад составляет 75-89% от общей суммы водорастворимых компонентов. На долю осаждающихся ионов с аэрозолем приходится от 11 до 24.5%, микроэлементов – 0.2-0.4%. Максимальные вертикальные потоки веществ из атмосферы определены над акваторией Японского моря, минимальные – над акваториями арктических морей.

### Благодарности

Авторы благодарят экипажи НЭС «Академик Федоров» и УПС «Профессор Хлюстин» за помощь и поддержку в проведении экспедиционных исследований. Работы выполнялись при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН №23 и проектов партнерских фундаментальных исследований СО РАН № 25.

### Литература

- Виноградова А.А., Пономарева Т.Я. 2007. Источники и стоки антропогенных микроэлементов в атмосфере Арктики: тенденции изменения с 1981 по 2005 г. // Оптика атмосферы и океана. Т. 20. В.6. С. 471-480.
- Горюнова Н.В. Шевченко В.П. 2008. Исследование аэрозолей и нерастворимых частиц в снежном покрове на дрейфующих льдах западной части российской Арктики в августе–сентябре 2006 г. // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1(78), с.112-117.
- Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России // Под ред. С.М. Сакерина. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2012. 484 с.
- Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. – М.: Наука, 2006. – 226 с.
- Duce R. A., Liss P. S., Merrill J. T., Atlas E. L., Buat-Menard P., Hicks B. M., Miller B. J., Prospero R., Arimoto J. M., Church T. M., Ellis W., Galloway J. N., Hansen L., Jickells T. D., Knap A. H., Reinhardt K. H., Schneider B., Soudine A. J., Tokos J., Tsunogai S., Wollast R., Zhou M. The atmospheric input of trace species to the world ocean, *Global Biogeochemical Cycles* Vol. 5, №3, 193–259, 1991.
- Nilsson E.D. and Rannik U. Turbulent aerosol fluxes over the Arctic Ocean 1. Dry deposition over sea and pack ice // *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*. 2001. Vol.106. №23. pp.32125–32137.
- Rahn K.A. 1981. Relative importances of North America and Eurasia as sources of Arctic aerosol. *Atmospheric Environment*, V. 15, N 8, pp.1447-1455.
- Redington A.L., Derwent R.G. 2002. Calculation of sulphate and nitrate aerosol concentrations over Europe using a Lagrangian dispersion model. *Atmospheric Environment*, V. 36, №28, pp. 4425–4439.

## Усовершенствование типизации геосистем для целей геокриологического картирования

Д.Н.Горобцов, В.В.Пендин, Д.Д.Шубина

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*  
Дроздов Д.С.

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

О.Е.Пономарева

*Российский государственный геологоразведочный университет МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

В данной статье приведено краткое описание существующих классификаций геологических тел и природно-территориальных комплексов, применяющихся в инженерной геологии и геокриологии. Дан алгоритм действий по исследованию ПТК и выявлению комплексных количественных показателей для обоснованного применения ландшафтно-индикационного метода. Приведен пример использования корреляционного, множественно-регрессионного и факторного анализа для определения характера взаимосвязей внешних и внутренних компонентов ПТК и разработки корректной классификации ПТК для целей геокриологического картирования.

**Ключевые слова:** геосистемы; комплексные количественные показатели; ландшафтно-индикационный метод; ландшафты; природно-территориальные комплексы.

### Geosystem Classification Improving for the Purposes of Geocryological Mapping

D.N.Gorobtsov, V.V.Pendin, D.D.Shubina

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

D.S.Drozhdov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

O.E.Ponomareva

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

### Abstract

In this article the short description of geological bodies and natural territorial complexes (NTC) classifications used in engineering geology and geocryology is given. Also there is an algorithm of natural territorial complexes examination and the detection of integrated quantitative indexes for landscape-indication methods reasonable use. An example of correlation, multiple regression and factor analysis usage to determine the interaction between internal and external components of NTC to refine their classification for mapping purposes is given factor analysis interaction appropriate.

**Key Words:** integrated quantitative indexes; geosystems; landscape-indication method; landscapes; natural territorial complexes.

### Геосистемный подход к изучению геологической среды.

Философско-методологической основой инженерно-геологического, в частности геокриологического, картирования являются современные представления о геосистемах. Иерархия геосистем должна отражать структуру геологических тел (их вещественного состава, состояния и свойств) и принципы их взаимодействий с внешними сферами и физическими полями. При переходе от более высокого уровня иерархии к более низкому степень однородности увеличивается. При выделении отдельных таксонов степень их однородности

предпочтительно устанавливать формализованным путем, опираясь на разработанный математический аппарат. Это позволит избежать субъективизма и повысит точность выделения элементов. Основой для иерархии геосистем служит иерархия геологических тел (как элементов литосферы, внутри которых остаются неизменными те признаки, на основании которых выделена их граница, и обладающие единичными режимами изменчивости геологических параметров). Классификация Г.К. Бондарика основана на использовании однозначных формальных правил [Бондарик 1973]. В ней выделяются следующие таксономические единицы: формация, субформация,



генетический тип, стратиграфо-генетический комплекс, монопородные геологические тела трёх уровней МГТ-1, МГТ-2, МГТ-3. Для целей мелкомасштабного картирования в зависимости от масштаба съемки можно выделять SGK нескольких уровней, соответствующих различным масштабам геологического времени их образования. Авторами рекомендуется ввести дополнительно ранг литолого-фациального комплекса (ЛФК), который при среднемасштабном картировании хорошо отражает однородность состава отложений и условий осадконакопления.

Геологические тела всех уровней иерархии не являются объектами непосредственных геокриологических наблюдений, возможно только исследование их частей. При геокриологическом картировании учитываются не только различия в вещественном составе, но и комплексы сингенетических и эпигенетических характеристик. Для проведения соответствующих границ необходимо

использование специальных картировочных методов (ландшафтных, геофизических) или соотнесение геологических тел с объективно выделяемыми при съемке на местности криогенными геосистемами [Дроздов Абрамов Баранов 1972, Методические рекомендации... 1977] (табл.1).

Под геосистемами в криолитозоне (природно-территориальными комплексами) подразумевают саморегулируемые самовосстанавливающиеся материальные системы взаимосвязанных элементов (горных пород, подземных и поверхностных вод, биоты), между которыми происходит массо- и энергообмен под действием различных факторов. Имея полную информацию о пространственном расположении, структуре и принципах функционирования геосистем, можно построить модели любого заданного содержания по любому заданному параметру.

Таблица 1. Корреляция иерархий геологических тел и геосистем [Геокриологические условия... 1983, Дроздов 2004].

Таксономические единицы иерархии геологических тел	Таксономические единицы иерархии геосистем
Надпорядковые геологические структуры	Ландшафтная (физико-географическая) страна
Формация	Ландшафтная провинция
Субформация	Ландшафтная подпровинция
Генетический комплекс 1-го уровня (ГК-1) (генетический тип четвертичных отложений)	Ландшафтный район
Генетический комплекс 2-го уровня (ГК-2)	Группа ландшафтов
Стратиграфо-генетический комплекс (СКГ)	Ландшафт
Литолого-фациальный комплекс 1-го уровня (ЛФК-1)	Местность
Литолого-фациальный комплекс 2-го уровня (ЛФК-2)	Группа урочищ
Часть ЛФК-2 (обособляется в отдельных случаях)	Урочище
Монопородное геологическое тело 1-го уровня (МГТ-1) – литологический тип	-
Монопородное геологическое тело 2-го уровня (МГТ-2) – литологический вид	-
Монопородное геологическое тело 3-го уровня (МГТ-3) – литологическая разновидность	Фация

### Применение ландшафтно-индикационного метода при геокриологическом картировании

Практически геокриологическое картирование осуществляется на основе ландшафтно-индикационного метода (ЛИМ), который позволяет распознать или дать оценку некоторого признака объекта, не поддающегося прямому наблюдению, по другому признаку, явно проявляющемуся на земной поверхности (аэрокосмоснимках, топографических картах). Данный метод базируется на понятии природно-территориального комплекса (ПТК). Это целостная, упорядоченная в пространственно-временном отношении композиция взаимодействующих компонентов литосферы и других приповерхностных оболочек. Наиболее распространенной иерархией ПТК считается система «ландшафт – местность – урочище – фация». Четкие критерии выделения рангов ПТК отсутствуют. Границы ПТК комбинаторные, выделяются в основном субъективно на основе внешних признаков (рельефа или растительности), глубина индикации оценивается в пределах 15-20 м.

Внешними компонентами – индикаторами - ПТК являются: растительность, рельеф, гидрографическая сеть, проявление экзогенных геологических процессов, компоненты искусственного происхождения. Внутренними компонентами (индикатами) являются геологическое строение, гидрогеологические и мерзлотные условия.

Обязательным условием применения ЛИМ является составление модели функционирования ПТК, путем содержательного анализа всех его компонентов и их взаимосвязей. Для каждой ландшафтной провинции должны быть выделены свои критерии выделения ПТК определенного ранга, поскольку иногда одни и те же внешние ландшафтные признаки обусловлены различными геокриологическими характеристиками.

Методика среднемасштабной инженерно-геологической съемки, основанной на использовании информации, полученной на ключевых участках – эталонах, заключается в экстраполяции данных за их границы. При экстраполяции опираются на комплексные ландшафтные индикаторы, в качестве которых нередко





применяют пространственную композицию набора внешних признаков ПТК категории «урочище».

Схема исследования ПТК предполагает следующую последовательность операций [Пендин Кюнцель 1978]:

1. Накопление информации о компонентах ПТК, ее фильтрация, отбраковка и анализ
2. Количественное выражение компонентов ПТК, построение моделей их полей
3. Разработка содержательных моделей статистической признаковой и пространственной структур ПТК
4. Реализация структур ПТК с помощью математического аппарата
5. Геологическая интерпретация полученных результатов, проверка содержательных моделей
6. Составление комплексных количественных индикаторов компонентов инженерно-геологических условий.

### Актуализация классификации геосистем

#### Классификация ПТК лесотундровой зоны

Рассмотренная методика реализована в районе лесотундровой зоны севера Западной Сибири. Съемка

территории проведена ВСЕГИНГЕО [Геокриологические условия... 1983]. Район расположен в зоне сплошного и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород (ММП). На его территории выделяются ландшафты: поймы, надпойменных террас, III озерно-аллювиальной равнины северной и южной лесотундры (СЛТ:IIIa, ЮЛТ:IIIa), IV озерно-аллювиальной равнины южной лесотундры (ЮЛТ:IV1a), IV прибрежно-морской равнины северной лесотундры (СЛТ:IVpm). Связи между ландшафтными индикаторами и компонентами инженерно-геологических условий изучены в пределах ландшафта III и IV равнин северной и южной лесотундры, имеющих наиболее широкое распространение в районе. III и IV озерно-аллювиальные равнины сложены преимущественно песчаными отложениями верхнечетвертичного возраста, IV прибрежно-морская равнина – песчано-глинистыми отложениями того же возраста.

По каждому ландшафту исходный материал (после отбраковки и предварительной обработки) представлен в виде количественных оценок индикаторов и индикатов (табл.2) [Пендин Кюнцель 1978].

Таблица 2. Количественная оценка компонентов ПТК.

Показатель компонентов ПТК, их индекс, единица измерения	Компонент ПТК
Сомкнутость крон, $CK$ , доли единицы Высота деревьев $H_d$ , м	Древесный ярус
Проективное покрытие, $ППК$ , доли единицы Высота кустарничков $H_{кз}$ , м	Травяно-кустарничковый ярус
Проективное покрытие, $ППМ$ , доли единицы	Мохово-лишайниковый ярус
Высотные отметки $H_{abc}$ , м Превышения над местными базисами эрозии $\Delta H$ , м Крутизна поверхности $\alpha$ , град Уклон поверхности $tg \alpha$ , безразмерная величина Экспозиция поверхности $\beta$ , град.	Элементы мезорельефа
Покрытие кочками (кочковатость) $K_S$ , доли единицы Покрытие пятнами-медальонами $M_S$ , доли единицы Высота кочек $K_h$ , м Размер пятен-медальонов $M_R$	Элементы микрорельефа
Глубина сезонно-талого слоя $h_{СТС}$ , м Температура пород в зоне постоянных годовых амплитуд $t^\circ$ ,	Мерзлотные условия
Коэффициенты дисперсности отложений в соответствующих интервалах глубин: $C_{d(0-2)}$ ; $C_{d(2-4)}$ ; $C_{d(4-6)}$ ; $C_{d(6-8)}$ ; $C_{d(8-10)}$ . (интервалы глубин (в м) приводятся в индексе в скобках), безразмерная величина Влажность пород сезонно-талого слоя $W_{СТС}$ , безразмерная величина Влажность подстилающих пород $W_a$ , безразмерная величина Мощность отложений торфа, $H_m$ , м	Геологическое строение

#### Выявление пространственных структурных взаимосвязей элементов

Составление содержательной модели формирования и функционирования ПТК проиллюстрируем на примере ландшафта СЛТ:IVpm. Отложения IV прибрежно-морской равнины преимущественно глинистые. Центральная часть равнины плоская, слабодренированная и в связи с этим сильно заболоченная и заозеренная. Возвышенное положение определяет температурный режим пород, процессы сезонного промерзания-протаивания и пространственное распределение

проявлений криогенных процессов. Малая мощность снежного покрова не может препятствовать глубокому промерзанию верхней части толщи горных пород. Низкая температура ММП в свою очередь создает условия, неблагоприятные для произрастания древесной растительности. Поэтому в центральной части ландшафта древесный покров практически отсутствует. В связи с этим определяющим индикатором внутренних компонентов ПТК в пределах рассматриваемого ландшафта следует считать рельеф поверхности. Повидимому, наиболее тесные связи должны наблюдаться между параметрами рельефа и мерзлотной обстановки.

Взаимосвязи рельефа с вещественным составом отложений будут выражены более слабо, поскольку накопление прибрежно-морских отложений определялось в основном древним рельефом, погребенным впоследствии.

Анализ условий формирования и функционирования остальных ландшафтов рассматриваемого района показал, что наиболее тесные связи следует ожидать между параметрами растительности и мерзлотных условий. Рельеф и гидрографическая сеть также оказывают влияние на мерзлотные условия. Рельеф и проявления ЭГП могут явиться индикаторами вещественного состава пород.

Анализ значений парных коэффициентов корреляции внешних и внутренних компонентов ПТК позволил сделать вывод о том, что *по отдельности ни один внешний компонент ПТК не может являться индикатором, а вещественный состав пород на данной территории не связан с внешними показателями.*

Особую роль в индикации геокриологических условий в пределах лесотундровой зоны играет древесная растительность. Она тесно связана с температурой и глубиной сезонного протаивания ММП. Индикационное значение параметров мезо- и микрорельефа более отчетливо проявляется на ландшафте СЛТ:IV<sub>рп</sub>, где практически отсутствует древесная растительность. На других рассмотренных авторами ландшафтах лесотундровой зоны эта связь вуалируется влиянием показателей древесной растительности. Таким образом, для индикации компонентов инженерно-геологических условий следует попытаться использовать комплексные ландшафтные индикаторы, сконструированные на основе результатов множественного регрессионного анализа. С целью получения комплексной характеристики, учитывающей разные показатели внешних компонентов ПТК и предназначенной для индикации сразу нескольких внутренних его компонентов, целесообразно использовать факторный анализ [Девис 1977].

Рассмотрение факторных нагрузок в целом позволяет сделать вывод о том, что каждому из изучаемых ландшафтов присуща своя группа показателей компонентов ПТК, вносящих наибольший вклад в общую дисперсию. Для ландшафта СЛТ:III<sub>а</sub> наиболее значимым оказался фактор кочковатости, для СЛТ:IV<sub>рп</sub> — наличие пятен-медальонов, для ЮЛТ:III<sub>а</sub> — древесная растительность, для ЮЛТ:IV<sub>1а</sub> — мерзлотные характеристики. Среди ландшафтов, принадлежащих к одной подзоне, можно отметить некоторые общие закономерности. В ЮЛТ наибольшие нагрузки на первый фактор общности дают показатели древесной растительности, а в СЛТ они уступают место показателям микрорельефа. Таким образом, факторный анализ дает возможность оценить структуру взаимосвязи внешних и внутренних компонентов ПТК, а также наметить пути разработки корректной классификации ПТК для целей инженерно-геологического картирования. Для индикации инженерно-геологических условий в пределах лесотундровой зоны, вероятно, наиболее важным признаком является наличие ( $u_1^1$ ) или отсутствие ( $u_1^2$ )

древесной растительности. Этот признак должен быть основанием классификации на первом уровне расчленения множества ПТК ( $u_1$ ). Для ПТК с древесной растительностью наиболее информативным по отношению к оценке мерзлотных условий является сомкнутость крон деревьев (признак-основание второго уровня расчленения ( $u_2$ )). На уровне квазиоднородных по показателю сомкнутости крон подмножеств ПТК признаком-основанием дальнейшего членения следует считать характеристики микрорельефа ( $u_3$ ). Безлесные ПТК ( $u_1^2$ ) можно разделить на ПТК с болотной растительностью ( $u_2^1$ ), торфяники ( $u_2^2$ ) и с тундровой растительностью ( $u_2^3$ ). Подмножество ПТК третьего уровня расчленения выделяют по показателям микрорельефа ( $u_3$ ) (рис. 1).

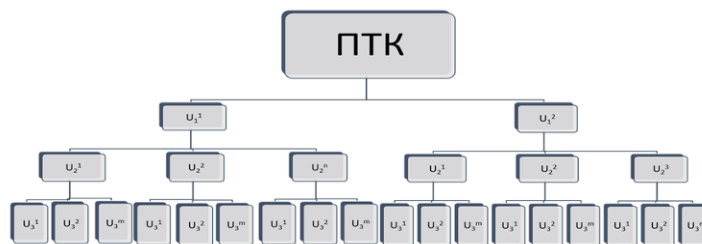


Рис. 1. «Дерево» классификаций ПТК.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фундаментальных программ VIII.75.1 и VIII.77.2, интеграционных проектов СО РАН – ДВО РАН № 9 и СО РАН № 144, ОНЗ РАН № 12, госзаданий Минобрнауки № 9093 и № 1082, грантов Президента РФ НШ-5582.2012.5, РФФИ-РГО-13-05-41509 РГО, РФФИ 13-05-00811, 13-08-91001-АНФ-а, 14-05-00956, 15-55-71004\15, международных программ TSP, LCLUC, CALM, GTN-P, SWIPA, Администрации ЯНАО.

## Литература

- Бондарик Г.К. Классификация геологических тел при инженерно-геологических съемках. – Разведка и охрана недр, 1973, № 10, с. 45-51.
- Геокриологические условия Западно-Сибирской газоносной провинции. – Новосибирск: Наука, 1983. – 200 с.
- Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных. – М.: Мир, 1977. 574 с.
- Дроздов Д.С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: автореф. дисс. ... д.г.-м.н. – Тюмень, 2004. – 49 с.
- Дроздов С.В., Абрамов С.П., Баранов И.Я. Рекомендации по производству инженерно-геологической съемки при инженерных изысканиях для строительства. – М.: Стройиздат, 1972. – 48 с.
- Методические рекомендации по инженерно-геокриологической съемке (север Западной Сибири). / Под ред. Е. С. Мельникова. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. – 104 с.
- Пендин В.В., Кюнтцель В.В. Количественные характеристики литологического строения территории. // Гидрогеология и инженерная геология. Новочеркасск, 1978. с. 58-63.

## Температурный режим плоскобугристых торфяников в подзоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири

А.Г.Гравис

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

О.Е.Пономарева

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Мерзлые плоскобугристые торфяники широко развиты в северной тайге Западной Сибири. Изучение их температурного режима в течение сорока лет дало основание считать, что плоскобугристые торфяники достаточно устойчивы к современному изменению климата. Рост температуры многолетнемерзлых пород происходит на этих торфяниках медленно. Исследования последних пяти лет позволили установить, что после холодных малоснежных зим происходит кратковременное понижение температуры пород. Тем не менее, даже кратковременного проникновения волн холода оказывается достаточно, чтобы замедлить процесс роста температуры пород. Выявлено, что в краевых частях торфяников и переходных зонах от торфяников к болотам зимой 2010 и 2011 года произошло понижение температуры пород на глубинах 3 и 5 м, которое продолжалось в 2013, 2014 гг. и сопровождалось пучением. Часть возникших в 2010 и 2011 гг. форм пучения сохранилась до 2014г. Использование новой измерительной аппаратуры и увеличение количества точек наблюдения дало возможность обнаружить торфяники, на которых происходит направленное значительное повышение температуры в верхней части слоя затухания годовых амплитуд.

**Ключевые слова:** изменение климата, плоскобугристые торфяники, криогенное пучение, температура, многолетнемерзлые породы

### Temperature Regime of Flat Peatlands in Sporadic Permafrost Subzone of Western Siberia

A.G.Gravis

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

O.E.Ponomareva

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

### Abstract

Frozen flat peatland are widespread in the northern taiga of Western Siberia. The study of their temperature for forty years let us to suppose that flat peatlands were sufficiently stable to modern climate change. The temperature increase of permafrost occurred in these peatlands slowly. Research over the last five years revealed that after the cold winters with little snow there was a brief drop in temperature rocks. However, even short-term penetration of cold waves was enough to slow the rise in temperature of rocks. It was shown that in the edge zone of peatlands and transition zones of peatland in the winter of 2010 and 2011 there was a decrease in the temperature of rocks at a depth of 3 m and 5 m, which continued in 2013, 2014 years and was accompanied by heaving. Part of the heaving form preserved until 2014. Using the new device and increasing the number of observations made it possible to detect peat, which occurs directional significant temperature rise in the upper part of the annual temperature fluctuations layer.

**Key Words:** climate change, flat peatland, frost heave, temperature, permafrost

### Введение

Мерзлые плоскобугристые торфяники занимают около 50% площади в пределах Надымского стационара, расположенного в северной тайге Западной Сибири. Мониторинг температуры многолетнемерзлых пород (ММП) на плоскобугристых торфяниках ведется с 1972 г. Было установлено, что за 40 лет наблюдений температура на глубине затухания годовых колебаний температур повысилась с  $-1,0^{\circ}\text{C}$  до  $-0,2^{\circ}\text{C}$ , что связано с потеплением

климата [Комплексный 2012]. С 2009 г. количество точек наблюдений было увеличено, точность измерений стала выше за счет применения новой аппаратуры, что позволило выявить особенности температурного режима плоскобугристых торфяников.

### Район исследований

Температурный режим плоскобугристых торфяников изучается на Надымском стационаре, расположенном в подзоне северной тайги Западной Сибири. в бассейне р.

Хейги-Яха (приток р. Надым) (рис. 1), на III озерно-аллювиальной равнине с абсолютными отметками 25-30 м. [Ландшафты... 1983]. В пределах плоскобугристых торфяников мощность верхнего органогенного слоя изменяется от 0,7 до 1,5 м. Литологический состав минеральных отложений достаточно разнообразный за счет частого переслаивания песков, супесей и суглинков. Под органогенными отложениями залегают пылеватые пески с прослоями супеси, суглинка, иногда дресвы и гравия. На глубине 4–8 м, реже 10 м, пески сменяются суглинками, последние на глубине 14 м переходят в пески с прослоями супеси, суглинка содержат многочисленные растительные включения. ММП имеют массивно-островное распространение. Острова мерзлоты приурочены к торфяникам. Массивы многолетнемерзлых пород здесь имеют двухслойное строение. Кровля реликтовых толщ залегает на глубинах около 100 м. Плоскобугристые торфяники разделены заболоченными ложбинами стока. Под ложбинами стока с травяно-моховыми болотами современные ММП отсутствуют или кровля их понижена.

Для оценки тенденций изменения климата привлекались данные метеостанции Надым, расположенной в 30 км севернее стационара. На этой метеостанции температура воздуха измеряется с 1959 по настоящее время, количество осадков определяется с 1966 по настоящее время.

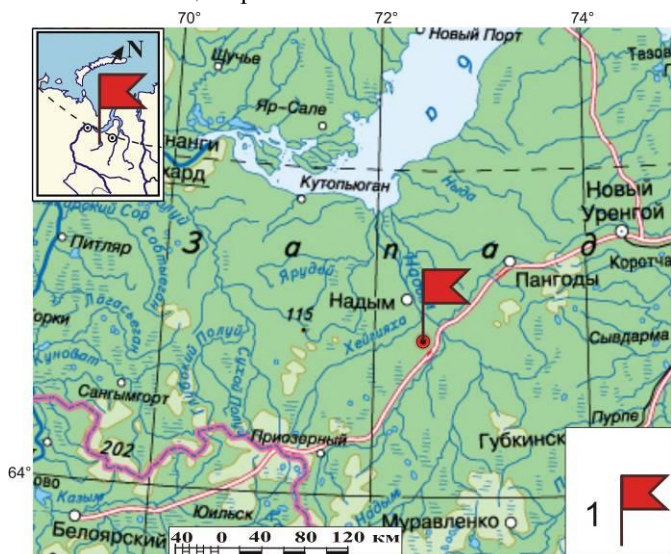


Рис. 1. Расположение Надымского стационара.  
1 – Надымский стационар

Изменение климата выражается также в увеличении длительности периода протаивания на 15-25 дней, преимущественно за счет более раннего перехода температуры воздуха через ноль в мае.

Таким образом, имеющиеся в нашем распоряжении метеоданные позволяют анализировать информацию об изменении климата в регионе с 70-х гг. XX века и сравнивать тенденции изменения температуры воздуха с данными мониторинга температуры ММП.

Анализ метеоданных свидетельствует о повышении среднегодовой температуры воздуха с трендом составляющим  $0,04^{\circ}\text{C}$  в год для Надыма (рис. 2).

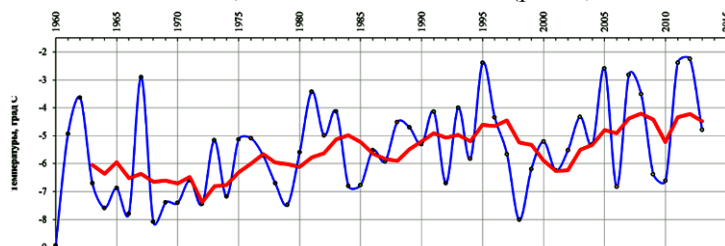


Рис. 2. Среднегодовые температуры воздуха по данным метеостанции Надым и линия тренда

Анализ данных о количестве выпадающих атмосферных осадков показывает, что имеет место высокая межгодовая изменчивость этого показателя, а также, что после 1991 г. количество осадков увеличилось на 40-50 мм, преимущественно за счет летней их составляющей.

### Методика изучения температурного режима многолетнемерзлых пород плоскобугристых торфяников

Круглогодичные измерения температуры ММП выполнялись в естественных условиях залегавшими термометрами с 1972 по 1983 гг. Позднее они выполнялись в сентябре, а с 2001 круглогодично логгерами различных модификаций. Начиная с 2009 г. используются логгеры конструкции Hobbo и LPC, позволяющие выполнять измерения с точностью  $0,2^{\circ}\text{C}$ .

Замеры температуры ММП 4-х канальными логгерами конструкции Hobbo выполняются в десятиметровых скважинах на глубинах 1, 3, 5 и 10 м, в тридцатиметровой скважине на глубинах 5, 10, 15 и 30 м. Замеры температуры ММП логгерами конструкции LPC осуществляются в десятиметровых скважинах с интервалом по глубине 1 м. Запись результатов производится 4 раза в день с интервалом 6 часов.

Анализ температурного режима ММП плоскобугристых торфяников выполнен по 5 скважинам. В двух скважинах мониторинг температур ведется с 70-х гг. XX века. В трех скважинах измерения осуществляются с 2009 г. Четыре скважины расположены в центральных частях плоскобугристых торфяников и 1 скважина (23а) в краевой части торфяника, в экотонной зоне, переходной к болоту.

### Результаты исследований температурного режима плоскобугристых торфяников

Анализ данных термометрии по скважине, функционирующей с 1972 года (скважина 14-72), показал, что температура ММП на центральных дренированных участках плоскобугристых торфяников в течение всего периода наблюдений (с 1972 г. по 2014 г.) в целом, повышалась (рис. 3).

Повышение температуры происходило неравномерно. Максимальная скорость повышения температуры

наблюдалась с 1972 по 1979 гг. и составила  $0,06^{\circ}\text{C}$  в год. С 1980 по 1992 гг. скорость повышения температуры снизилось до  $0,02^{\circ}\text{C}$  в год, позднее температура практически не менялась до 2012 г. В 2013 и 2014 гг. отмечено незначительное (на сотые доли градуса) ее понижение.

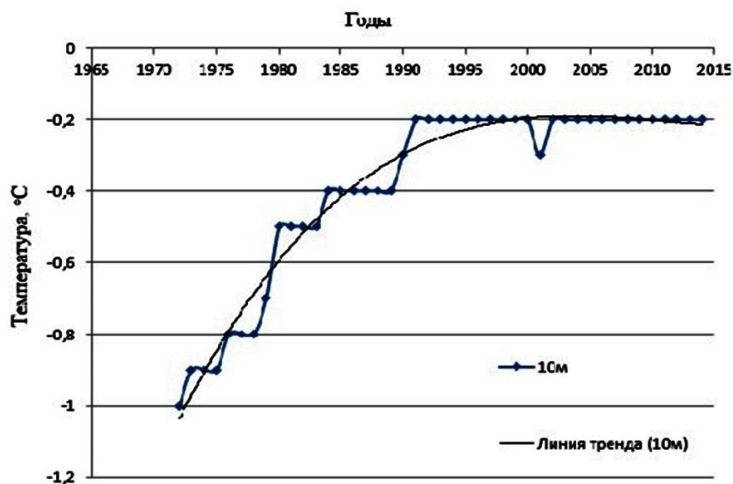


Рис. 3. Температура ММП на глубине 10 м по данным термометрии в скважине 14-72

Изменение температуры ММП краевых частей торфяника, характеризующиеся неустойчивым режимом обводнения, имеет более сложный характер. Данные термометрии по скважине 23а, функционирующей с 1977 г. свидетельствуют о том, что периоды повышения и понижения температуры ММП неоднократно сменялись (рис. 4). Тем не менее, в целом имело место повышение температуры ММП в период с 1977 по 2008 г. На глубине 10 м оно составило  $0,1^{\circ}\text{C}$ . В последние 5 лет с 2009 г. по 2014 происходило понижение температуры ММП с  $-0,1^{\circ}$  до  $-0,17^{\circ}\text{C}$ . На глубине 5 м понижение температуры ММП составило  $0,25^{\circ}\text{C}$  за период с 2010 по 2014 г.

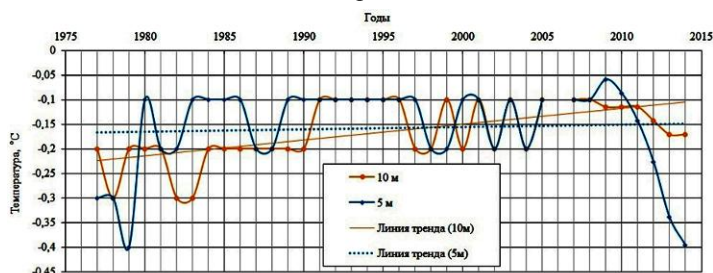


Рис. 4. Температура ММП на глубине 5 и 10 м по данным термометрии в скважине 23а

Понижение температуры ММП в краевых частях плоскобугристых торфяников сопровождалось проявлением пучения в переходных зонах от торфяника к болотам. Летом 2010 г. было зафиксировано появление многочисленных бугорков и зон пучения (рис. 5), на которых глубина протаивания в 2010 г. составляла 30–45 см, что, по меньшей мере в 2-3 раза было меньше глубины протаивания в 2009 г.

Повышение поверхности переходных зон привело к отмиранию влаголюбивой растительности, что позволяло

при маршрутных исследованиях легко маркировать зоны проявления пучения. В 2011–2013 гг. и особенно в 2014 г. (год с экстремально большим количеством дождей, выпавших в самый теплый месяц – июль), на многих приподнятых вследствие пучения участках глубина протаивания вновь увеличилась, пучение сменилось осадкой. Однако в бессточных понижениях формы пучения сохраняются.



Рис. 5. Зона проявления пучения

Анализ данных термометрии в скважине 2-09, расположенной в центральной части плоскобугристого торфяника с неустойчивым режимом обводнения, оборудованной для выполнения измерений в августе 2009 г. позволяет констатировать, что в данных природных условиях в течение последних 5 лет имеет место повышение температуры ММП (рис. 5.). На глубине 10 м оно составило  $0,2^{\circ}\text{C}$  (с  $-0,6$  до  $-0,4^{\circ}\text{C}$ ), на глубине 5 м -  $0,6^{\circ}\text{C}$  и на глубине 3 м -  $1,0^{\circ}\text{C}$ . Повышение температуры происходило на глубине 10 м со скоростью  $-0,04^{\circ}\text{C}$  в год, на глубине 5 м -  $0,1^{\circ}$  и на глубине 3 м -  $0,2^{\circ}\text{C}$  в год.

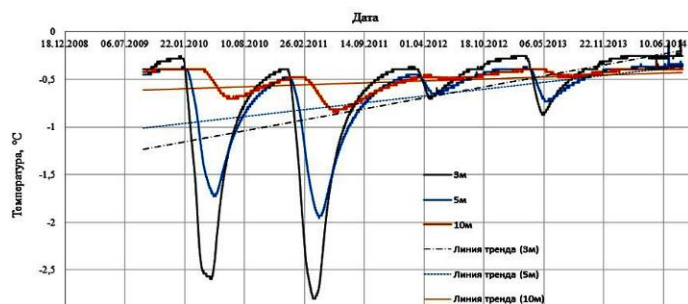


Рис. 6. Температура ММП на глубине 3, 5 и 10 м по данным термометрии в скважине 2-09

Холодные зимы 2009 и 2010 гг. привели к снижению температуры ММП в 2010–2011 гг. и замедлили темпы повышения температуры в слое затухания годовых колебаний.

Анализ данных термометрии в скважине 3-09, расположенной в центральной части дренированного плоскобугристого торфяника, оборудованной для выполнения измерений в августе 2010 г. позволяет констатировать, что в данных природных условиях имеет место повышение температуры ММП (рис.7) на глубинах

3 и 5 м. На подошве слоя затухания годовых амплитуд температура ММП пока остается неизменной –  $-0,4^{\circ}\text{C}$ .

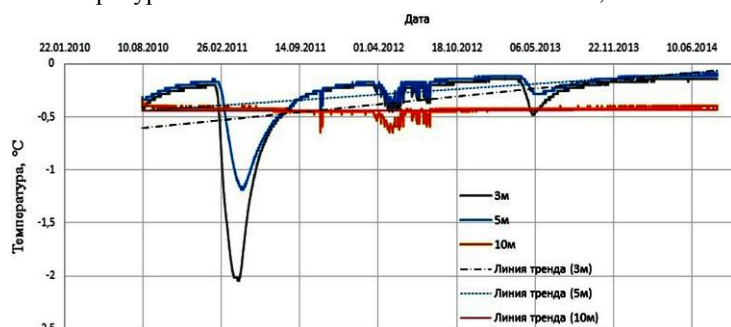


Рис 7. Температура ММП на глубине 3, 5 и 10 м по данным термометрии в скважине 3-09

Повышение температуры на глубине 5 м составило  $0,5^{\circ}\text{C}$ , на глубине 3 м –  $0,4^{\circ}\text{C}$ . Данный ряд наблюдений позволил выделить только одну волну холода в 2011 г., которая сильно замедлила темпы повышения температуры ММП.

Анализ данных по тридцатиметровой термометрической скважине, пройденной в центральной части относительно дренированного торфяника и оборудованной для измерений в августе 2007 г. показал, что температура ММП на глубинах 30 и 15 м пока не меняется и составляет соответственно  $-0,27^{\circ}\text{C}$  и  $-0,4^{\circ}\text{C}$ . На глубине 10 м температура ММП поднялась с  $-0,52^{\circ}\text{C}$  до  $-0,4^{\circ}\text{C}$ , на глубине 5 м поднялась с  $-0,5^{\circ}\text{C}$  до  $-0,4^{\circ}\text{C}$  (рис. 8).

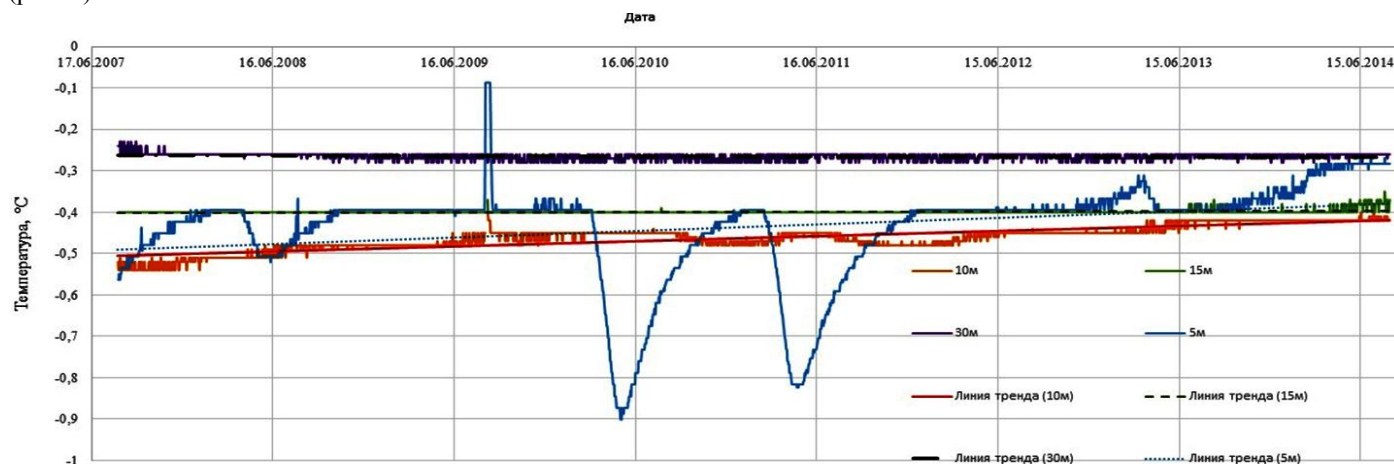


Рис.8. Температура ММП на глубине 5, 10, 15 и 30 м по данным логгера НОВО в скважине 30м

### Благодарности

Данная работа выполнена авторами при финансовой поддержке: интеграционного проекта «Криогенные ресурсы Арктики и Субарктики: состояние и структура криолитозоны, физико-химическое моделирование и биологический потенциал криогенных систем»; проекта РФФИ-13-05-00811А; а также в рамках Программы фундаментальных исследований РАН ОНЗ № 12 «Процессы в атмосфере и криосфере как факторы

В 2010 и 2011 гг. зафиксированы волны холода на глубине 5 м, замедлившие повышение температуры ММП.

### Обсуждение результатов

Ранее считалось, что плоскобугристые торфяники являются наиболее устойчивым урочищем к повышению температур воздуха. Данное утверждение было результатом анализа температур ММП в скважине 14-72 и темпов протаивания грунтов сезонно-талого слоя (СТС) на профилях и площадках, заложенных на плоскобугристых торфяниках [Комплексный..., 2012].

Данные о температурном режиме ММП, полученные с 2009 (2007) по 2014 гг. в целом, подтверждают этот вывод. Повышение температуры ММП плоскобугристых торфяников на глубине 10 м происходит не более чем на  $0,04^{\circ}\text{C}$ . Исследования последних пяти лет позволили выявить торфяники, на которых происходит достаточно быстрое повышение температуры на глубинах 3 и 5 м. Благодаря использованию измерительной аппаратуры с круглогодичной регистрацией температуры было установлено влияние короткопериодных понижений температур воздуха (холодные зимы) на замедление темпов повышения температуры ММП в слое затухания годовых колебаний. Выявлено направленное понижение температуры ММП на глубинах 3 и 5 м. в переходной зоне от плоскобугристого торфяника к болоту, сопровождающееся пучением.

изменения природной среды», международных проектов CALM и TSP.

### Литература

- Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири. 2012 / Под ред. В.П.Мельникова – Новосибирск: Рос. академическое ид-во “Гео”, 2012. – 207 с.
- Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова – Новосибирск : Наука, 1983. – 166 с.



## Время установления стационарного режима фильтрации в мерзлой глине

Б.В.Григорьев

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Тюменский государственный университет ТюмГУ, Тюмень*

В.С.Колунин

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

А.Т.Тюльков

*Тюменский государственный университет ТюмГУ, Тюмень*

### Реферат

Целью проводимого эксперимента является изучение влияния временного фактора на фильтрационную способность мерзлых пород. В качестве исследуемого образца используется водонасыщенная белая глина. Измерение коэффициента гидропроводности талой глины проводится при перепаде уровней воды в капиллярах. Скорость фильтрации жидкости отслеживается по движению менисков в капиллярах (3). Известно, что замораживание мелкодисперсного водонасыщенного грунта может инициировать перераспределение компонентов грунта. Физические свойства мерзлой породы зависят ее структуры. На протяжении эксперимента глина подвергается циклическому воздействию температур от  $-0,26$  до  $+0,24$ . Продолжительность периода колебаний в разных циклах составляет 8-10 часов. Время релаксации мерзлого грунта к стационарному состоянию фильтрации превышает 5 суток. Циклические изменения температуры мерзлого грунта слабо влияют на его фильтрационную способность.

**Ключевые слова:** мерзлый грунт; стационарный режим; фильтрация.

### The Relaxation Time of Steady State Filtration in Frozen Clay

B.V.Grigoryev

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

V.S.Kolunin

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

A.T.Tjul'kov

*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

### Abstract

The purpose of the made experiment is studying of influence of a temporary factor on filtrational ability of frozen breeds. As the studied sample water-saturated white clay is used. Measurement of coefficient of hydraulic conductivity of thawed clay is taken at difference of water levels in capillaries. Speed of a filtration of liquid is traced on the movement of meniscuses in capillaries (3). It is known that freezing of fine water-saturated soil can initiate a pereraspredeleniye of components of soil. Physical properties of frozen breed depend its structures. Throughout experiment clay is exposed to cyclic influence of temperatures from  $-0,26$  to  $+0,24$ . Duration of the period of fluctuations in different cycles makes 8-10 hours. Time of a relaxation of frozen soil to a steady state of a filtration exceeds 5 days. Cyclic change of temperature of frozen soil poorly influences its filtrational ability.

**Key Words:** filtration, frozen soil, steady state.

В 1936 году П.И. Андрианов в своих исследованиях показал, что при всестороннем охлаждении водонасыщенного талого грунта сначала наблюдается его переохлаждение и затем скачкообразное повышение его температуры, которое является началом процесса кристаллизации воды. Важной особенностью фазового перехода в мерзлых дисперсных породах является то, что в них сохраняется определённое количество незамёрзшей воды вплоть до  $-70$  °С. Причём эта вода находится в термодинамическом равновесии с внутригрунтовым льдом [Цытович 1973]. Градиенты температуры, давления воды или концентрации порового раствора

могут вызывать движение жидкой фазы внутри мерзлой породы. В работах [Horiguchi & Miller 1983] показана существенная зависимость фильтрационных свойств мерзлых грунтовых систем от температуры. Однако, в отмеченных выше работах отсутствуют данные о временной стабильности фильтрации. Тем более, что в реальных условиях сезонномерзлые породы подвержены колебаниям температуры. Целью проводимого эксперимента является изучение влияния временного фактора на фильтрационную способность мерзлых пород.

В качестве исследуемого образца используется водонасыщенная белая глина.



В эксперименте задействована следующая аппаратура: устройство для измерения скорости фильтрации, охлаждающий термостат JULABO для поддержания постоянной температуры грунта, разностные термопары для измерения температуры грунта, и холодильник с термосом, содержащем водно-ледовую смесь, в которую погружаются опорные спаи термопар. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

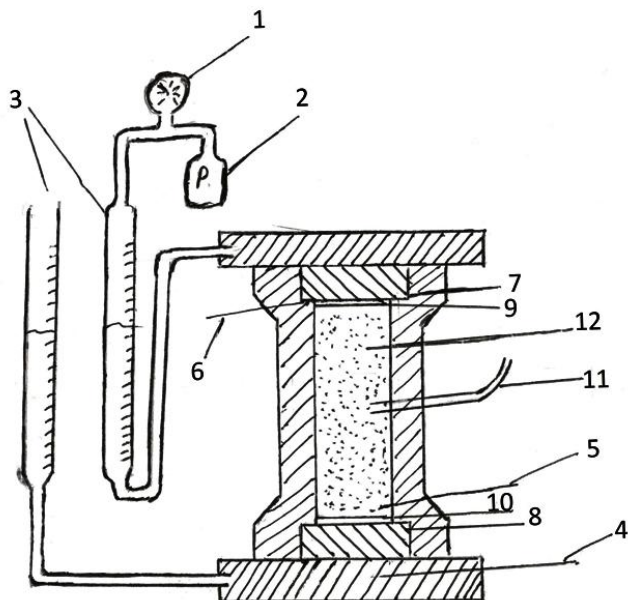


Рис. 1. Установка для изучения фильтрационных свойств мерзлого грунта. 1 - манометр; 2 - баллон со сжатым воздухом; 3 - капилляры; 4, 5, 6 - Термопары; 7, 8 - пластинки из пористой керамики; 9, 10 - микропористые мембраны; 11 - затравочная трубка; 12 - грунт

При подготовке эксперимента керамические пластинки (7, 8) и мембраны (9, 10) насыщаются водой, а внутренняя емкость ячейки заполняется водонасыщенной глиной (12) влажностью 85 % на сухую навеску. Высота грунтовой колонки равна 16 мм, диаметр – 32 мм. После сборки экспериментальная ячейка помещается в термостат, а ее температура устанавливается незначительно ниже 0 °С. Сначала измеряется коэффициент гидропроводности талого грунта, а затем инициируется замерзание воды в образце. Для это в затравочную трубку (11) вносится небольшой кусочек льда, что приводит к замерзанию глинистого образца. Чтобы предотвратить образование льда в подводящих трубках и керамических пластинках (7, 8), между грунтом и керамическим пластинками помещаются тонкопористые мембраны (9, 10) с размером сквозных пор менее микрона. Такой способ изучения фильтрационных свойств мерзлых пород представлен в работах Р.Д. Миллера [Miller & Black 1983; Horiguchi & Miller 1983].

Измерение коэффициента гидропроводности талой глины проводится при перепаде уровней воды в капиллярах (3) равном 230 мм. В экспериментах с мерзлым образцом конец одного из капилляров подсоединяется к баллону со сжатым воздухом (2) под

давлением около 1 атм. Скорость фильтрации жидкости отслеживается по движению менисков в капиллярах (3).

В течение всего эксперимента записываются показания термопар.

Коэффициенты гидропроводности талого грунта до и после опыта равны соответственно  $10^{-12} \text{ м}^2/(\text{с}\cdot\text{Па})$  и  $2 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/(\text{с}\cdot\text{Па})$ .

В отличие от талого грунта мерзлые породы имеют достаточно большое время релаксации, которое превышает несколько суток (рис.2)

Ниже представлен характерный пример изменения коэффициента гидропроводности мерзлого образца с течением времени (рис. 2).

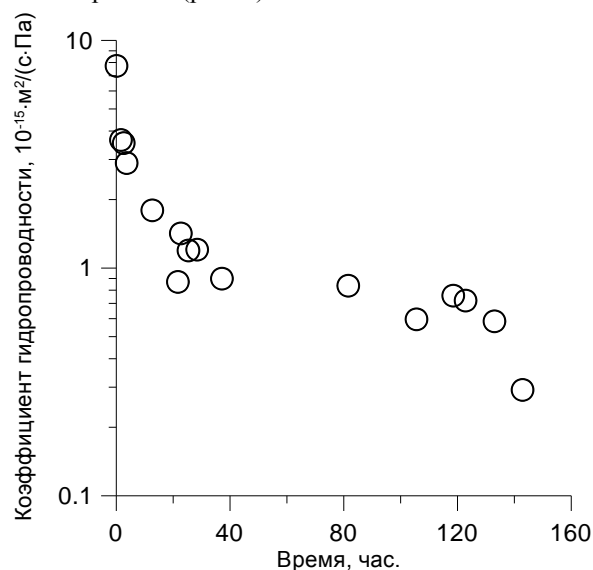


Рис. 2. Изменение величины коэффициента гидропроводности мерзлой глины с течением времени.

На графике изменения коэффициента гидропроводности с течением времени выделяются два характерных участка: участок быстрого и медленного изменения. Участок быстрого изменения занимает по времени около часов.

Известно, что замерзание мелкодисперсного водонасыщенного грунта может инициировать перераспределение компонентов грунта. Физические свойства мерзлой породы зависят ее структуры. В таблице 1 представлены данные, показывающие влияние колебания температуры на ее фильтрационные свойства. На протяжении эксперимента глина подвергается циклическому воздействию температур от -0,26 до +0,24. Продолжительность периода колебаний в разных циклах составляет 8-10 часов (рис. 3). После циклического воздействия грунт выдерживается в течение 1 – 3 суток при температуре термостата -0,08 °С, а затем проводится измерение его гидропроводности (рис. 4). Величины коэффициентов гидропроводности, приведенных в таблице 1, соответствуют последнему измерению.



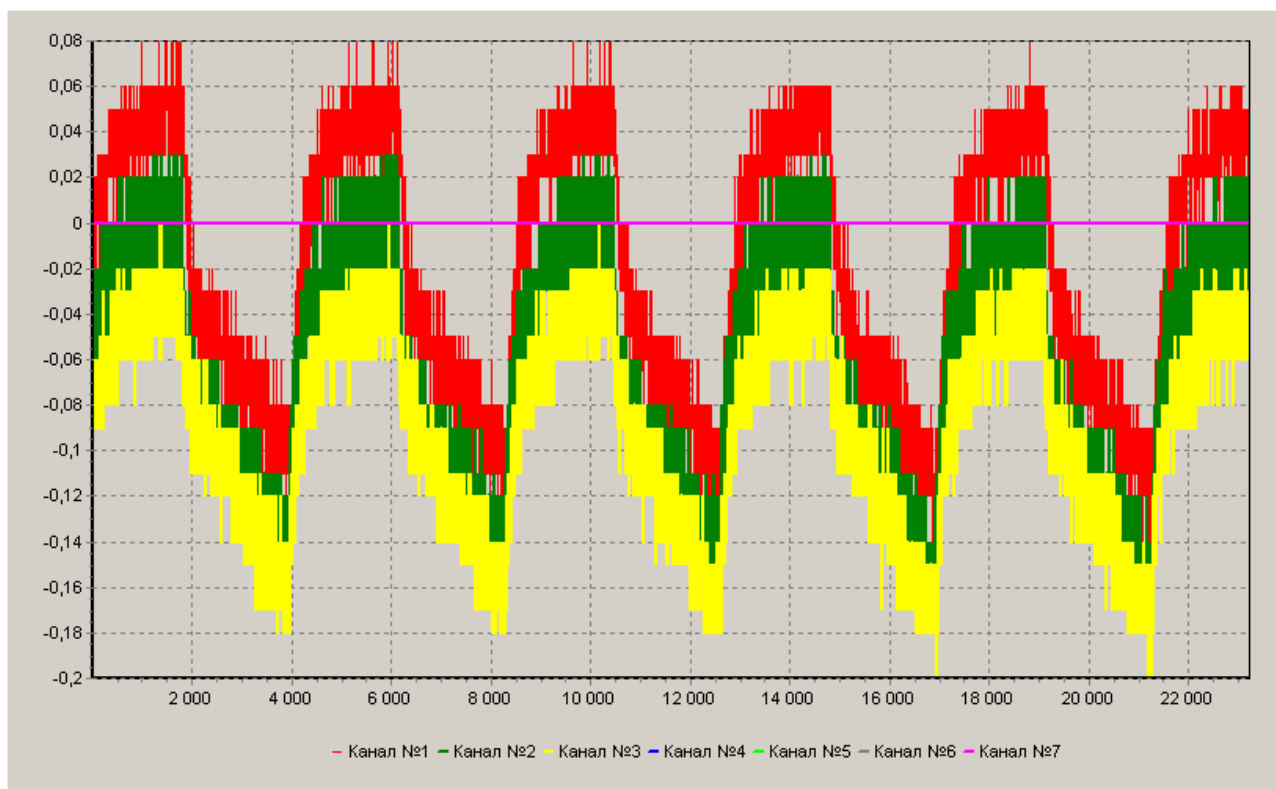


Рис. 3. Циклическое изменение температуры, зарегистрированное термопарами (4 - крас., 5 - зел., 6 – жел., рис. 1), в период с 30 января по 2 февраля. Одно деление по оси абсцисс соответствует 10 секундам.

Таблица 1. Воздействие циклических колебаний температуры термостата на гидропроводность мерзлой глины

Дата (цикл)	Коэффициент гидропроводности, $\text{м}^2/(\text{с} \cdot \text{Па})$	Средняя температура
	перед началом колебаний температуры	
22 января	$0,75 \cdot 10^{-15}$	-0,08
23январь-3фев	20 циклов от -0,20 до 0	
4 февраля	$1,5 \cdot 10^{-15}$	-0,08
4 – 16 фев	20 циклов от -0,26 до 0,24	
18-19 февраля	$1,5 \cdot 10^{-15}$	-0,082

Представленные результаты позволяют сделать следующие выводы:

Время релаксации мерзлого грунта к стационарному состоянию фильтрации превышает 5 суток.

Циклические изменение температуры мерзлого грунта слабо влияет на его фильтрационную способность.

### Литература

Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. Шк., 1973. – 210с.  
 Black, P.B. & Miller, R.D. 1990 Hydraulic Conductivity and Unfrozen Water Content of Air-Free Frozen Silt. Water Resources Research 26, 2: 323 – 329

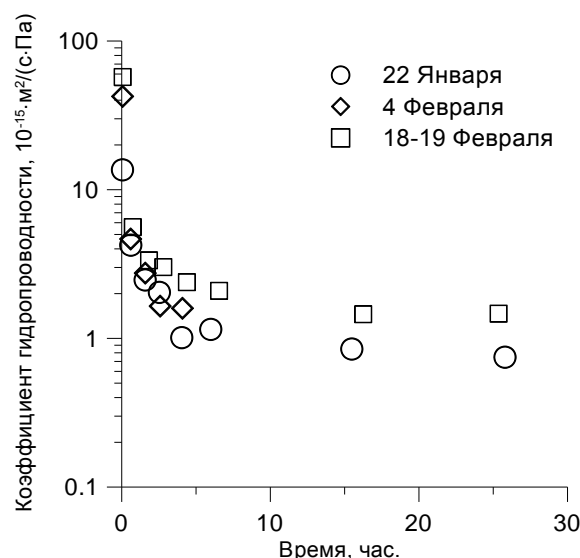


Рис. 4. Временная зависимость коэффициентов гидропроводности, представленных

Horiguchi, K., Miller, R.D. Hydraulic conductivity functions of frozen materials // Permafrost. Fourth International Conference Proc., July 17-22, 1983, 504-508.  
 Williams, P.J., Burt, T.P. 1974 Measurement of hydraulic conductivity of frozen soils. Canadian Geotechnical Journal 11: 647-650.

## Акустические волны в содержащей газовый гидрат пористой среде

А.А.Губайдуллин, О.Ю.Болдырева, Д.Н.Дудко

Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН

### Реферат

Для исследования волновых процессов предложена математическая модель пористой среды, содержащей лед или газовый гидрат. В данной модели гидрат рассматривается как отдельная фаза, со своей скоростью и напряжением. Скелет пористой среды считается двухфазным, состоящим из контактирующих между собой зерен двух материалов с различными свойствами, т.е. в скелете различаются зерна горной породы и зерна газогидрата. Вводится эффективное напряжение в скелете такой трехфазной пористой среды, получено уравнение состояния упругого двухфазного скелета. Предложенная система уравнений позволяет исследовать волновые процессы в содержащих лед или гидрат пористых средах в отсутствие фазовых переходов, что является актуальной задачей при обнаружении гидратосодержащих пластов. Численно исследован процесс распространения волн в пористой среде, содержащей гидрат или лед. Также численно изучено прохождение и отражение волн на границах между флюидом и содержащей гидрат пористой средой, между флюидонасыщенной и гидратонасыщенной пористыми средами.

**Ключевые слова:** волны; гидрат; пористая среда.

### Acoustic Waves in Porous Medium Containing Gas Hydrate

A.A.Gubaidullin, O.Yu.Boldyreva, D.N.Dudko

Tyumen Branch of Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS

### Abstract

The system of equations of motion of porous medium containing ice or gas hydrate is obtained. In the suggested model hydrate is considered as an individual phase and is characterized with its own velocity and stress. Thus, the skeleton of such porous medium consists of contacting grains of two different materials, ground grains and hydrate grains. The effective stress of the skeleton of such three-phase porous medium is introduced. The constitutive equation of elastic two-phase skeleton is derived. The suggested set of equations allows investigation of wave processes in hydrate containing porous medium without phase transitions. It is an actual problem for the detection of gas hydrate reservoirs. Wave propagation in hydrate containing porous medium is numerically investigated. It is also numerically studied wave transition and reflection at the boundaries between fluid and hydrate containing porous medium, fluid-saturated porous medium and hydrate containing porous medium.

**Key Words:** hydrate; porous medium; waves.

### Введение

Рассмотрим пористую среду, частично заполненную гидратом. Будем считать, что оставшееся пространство в порах занято флюидом – жидкостью либо газом.

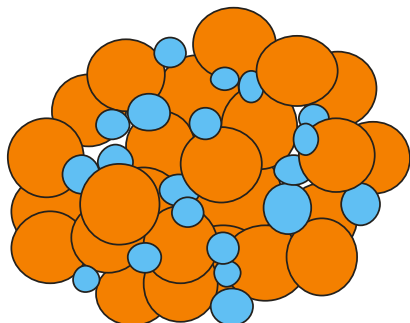


Рис. 1. Двухфазный скелет пористой среды, состоящий из зерен горной породы и газогидрата

Согласно экспериментальным исследованиям образования газогидратов в пористой среде [Тохиди и др.

2003], зародыши гидрата образуются не на контактах зерен, а в поровом пространстве вне контактов между зернами. Далее, по мере роста, зерна гидрата становятся сравнимыми по размеру с зернами скелета, и гидрат может заполнить значительную часть порового пространства. Поэтому будем считать, что скелет такой пористой среды является двухфазным, состоит из контактирующих между собой зерен двух материалов с различными свойствами, т.е. будем различать в скелете зерна грунта и зерна газогидрата или льда (Рис.1).

Таким образом, будем рассматривать такую среду как трехфазную, параметры фаз будем помечать индексами  $s$  (skeleton),  $h$  (hydrate),  $f$  (fluid). Каждая фаза характеризуется своей скоростью и напряжением.

### Математическая модель

В работе приняты обычные при исследованиях пористых сред допущения, и использованы обозначения монографий [Нигматуллин 1978, 1987].



Вводится эффективное напряжение  $\sigma_{ef}$  в скелете такой трехфазной пористой среды, при этом для полного напряжения  $\sigma$  остается справедливое равенство

$$\sigma^{kl} = \sigma_{ef}^{kl} - \delta^{kl} p_f,$$

где  $p_f$  – давление,  $\delta^{kl}$  – символ Кронекера.

В случае отсутствия фазовых переходов уравнения сохранения масс и импульсов фаз имеют вид:

$$\frac{\partial \rho_f}{\partial t} + \nabla^l (\rho_f v_f^l) = 0, \quad \frac{\partial \rho_s}{\partial t} + \nabla^l (\rho_s v_s^l) = 0,$$

$$\frac{\partial \rho_h}{\partial t} + \nabla^l (\rho_h v_h^l) = 0$$

$$\rho_f \frac{d_f v_f^k}{dt} = -\alpha_f \nabla^k p_f - F_{sf}^k - F_{hf}^k$$

$$\rho_s \frac{d_s v_s^k}{dt} = -\alpha_s \nabla^k p_f + \frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_h} \nabla^l \sigma_{ef}^{lk} + F_{sf}^k$$

$$\rho_h \frac{d_h v_h^k}{dt} = -\alpha_h \nabla^k p_f + \frac{\alpha_h}{\alpha_s + \alpha_h} \nabla^l \sigma_{ef}^{lk} + F_{hf}^k$$

где  $\rho_i$ ,  $v_i$ ,  $\alpha_i$  – приведенная плотность, скорость, объемное содержание  $i$ -той фазы.

Здесь полагается, что распределение импульса между  $s$  и  $h$  – составляющими скелета, обусловленное эффективным напряжением, происходит пропорционально их объемным долям в скелете

$$\frac{\alpha_s}{\alpha_s + \alpha_h}, \quad \frac{\alpha_h}{\alpha_s + \alpha_h}.$$

Кроме этого, обмен импульсом между фазами происходит вследствие межфазного взаимодействия, которое учитывается введением межфазных сил.

Будем считать, что выражения для этих сил имеют такой же вид, как и для флюидонасыщенной пористой среды [Нигматуллин 1978, 1987].

$$F_{sf} = F_{sm} + F_{s\mu}, \quad F_{hf} = F_{hm} + F_{h\mu},$$

$$F_{sm} = \frac{1}{2} \eta_{sm} \alpha_s \alpha_f \rho_{f0} \left( \frac{d_f v_f}{dt} - \frac{d_s v_s}{dt} \right),$$

$$F_{s\mu} = \eta_{s\mu} \alpha_s \alpha_f \mu_f a_{s*}^{-2} (v_f - v_s),$$

$$F_{hm} = \frac{1}{2} \eta_{hm} \alpha_h \alpha_f \rho_{f0} \left( \frac{d_f v_f}{dt} - \frac{d_h v_h}{dt} \right),$$

$$F_{h\mu} = \eta_{h\mu} \alpha_h \alpha_f \mu_f a_{h*}^{-2} (v_f - v_h).$$

где  $\rho_{f0}$  – истинная плотность,  $a_{i*}$  – характерный размер зерен  $i$ -ой фазы,  $\mu_f$  – вязкость флюида,  $\eta_{im}$  и  $\eta_{i\mu}$  – безразмерные коэффициенты взаимодействия фаз, зависящие от структуры среды.

Получено уравнение состояния упругого скелета в виде

$$\sigma_{ef}^{kl} = \sigma_{ef,s}^{kl} + \sigma_{ef,h}^{kl},$$

$$\sigma_{ef,s}^{kl} = \alpha_s (\lambda_{ef,s} \delta^{kl} \varepsilon_s^{mm} + 2\mu_{ef,s} \varepsilon_s^{kl} + v_{ef,s} \delta^{kl} p_f),$$

$$v_{ef,s} = \frac{\lambda_{ef,s} + 2/3 \mu_{ef,s}}{\lambda_s + 2/3 \mu_s},$$

$$\sigma_{ef,h}^{kl} = \alpha_h (\lambda_{ef,h} \delta^{kl} \varepsilon_h^{mm} + 2\mu_{ef,h} \varepsilon_h^{kl} + v_{ef,h} \delta^{kl} p_f),$$

$$v_{ef,h} = \frac{\lambda_{ef,h} + 2/3 \mu_{ef,h}}{\lambda_h + 2/3 \mu_h}.$$

$$\frac{\partial_s \varepsilon_s^{kl}}{\partial t} = \frac{1}{2} (\nabla^k v_s^l + \nabla^l v_s^k),$$

$$\frac{\partial_h \varepsilon_h^{kl}}{\partial t} = \frac{1}{2} (\nabla^k v_h^l + \nabla^l v_h^k)$$

где  $\lambda_{ef,s}$ ,  $\mu_{ef,s}$ ,  $\lambda_{ef,h}$ ,  $\mu_{ef,h}$  – модули упругости скелета и гидрата,  $\varepsilon_i$  – деформации  $i$ -той фазы.

Для каждой из фаз примем линейное уравнение состояния в акустическом приближении:

$$p_j - p_{j0} = K_j (\rho_j^\circ - \rho_{j0}^\circ) / \rho_{j0}^\circ,$$

где нижний индекс 0 означает невозмущенное значение величины,  $K_j$  – объемные модули упругости для материала  $j$ -той фазы,  $j = s, h, f$ .

Для замыкания системы уравнений используем соотношения между истинными давлениями в фазах и эффективными давлениями в скелете

$$\rho_j = \alpha_j \rho_j^\circ, \quad \alpha_s + \alpha_h + \alpha_f = 1,$$

$$p_{ef,s} = \alpha_s (p_s - p_f), \quad p_{ef,s} = -\frac{1}{3} \sigma_{ef,s}^{mm},$$

$$p_{ef,h} = \alpha_h (p_h - p_f), \quad p_{ef,h} = -\frac{1}{3} \sigma_{ef,h}^{mm}.$$

Предложенная система уравнений при заданных входящих в нее параметрах

$$\lambda_{ef,s}, \mu_{ef,s}, \lambda_{ef,h}, \mu_{ef,h}, \eta_{sm}, \eta_{s\mu}, \eta_{hm}, \eta_{h\mu}$$

является замкнутой и позволяет исследовать волновые процессы в гидратосодержащих пористых средах в отсутствие фазовых переходов.

### Численное исследование распространения импульса в содержащей лед или газогидрат газонасыщенной пористой среде

Распространение импульса в пористой среде рассчитывалось численно методом Лакса-Вендроффа.

На Рис.2 показано изменение полного напряжения, порового давления и скоростей фаз при распространении треугольного импульса в пористой среде, насыщенной метаном, для нескольких моментов времени.

Объемное содержание газа равно  $\alpha_f = 0.08$ , доля гидрата в порах равна 0.8,  $\alpha_s = 0.6$ ,  $\alpha_h = 0.32$ . Материал скелета – кварц, параметры фаз и пористой среды следующие:

$p_0 = 5$  МПа,  $T_0 = -10^\circ\text{C} = 263$  К,  $\rho_f^\circ = 34.36$  кг/м<sup>3</sup>,  $K_f = 6.55$  ГПа,  $\mu_f = 0.011$  мПа·с,  $\rho_s^\circ = 2760$  кг/м<sup>3</sup>,  $K_s = 36.6$  ГПа,  $\rho_h^\circ = 910$  кг/м<sup>3</sup>,  $K_h = 6.41$  ГПа,  $a_{s^*} = 0.1$  мм,  $\eta_{sm} = 1$ ,  $\eta_{su} =$

$100$ ,  $\lambda_{ef,s} = \mu_{ef,s} = 0.5$  ГПа,  $a_{h^*} = 0.05$  мм,  $\eta_{hm} = 1$ ,  $\eta_{hu} = 100$ ,  $\lambda_{ef,h} = \mu_{ef,h} = 0.1$  ГПа.

Начальный импульс треугольной формы, имеющий безразмерную амплитуду 0.1 и протяженность 0.4 м, задается в газе перед входом в пористую среду.

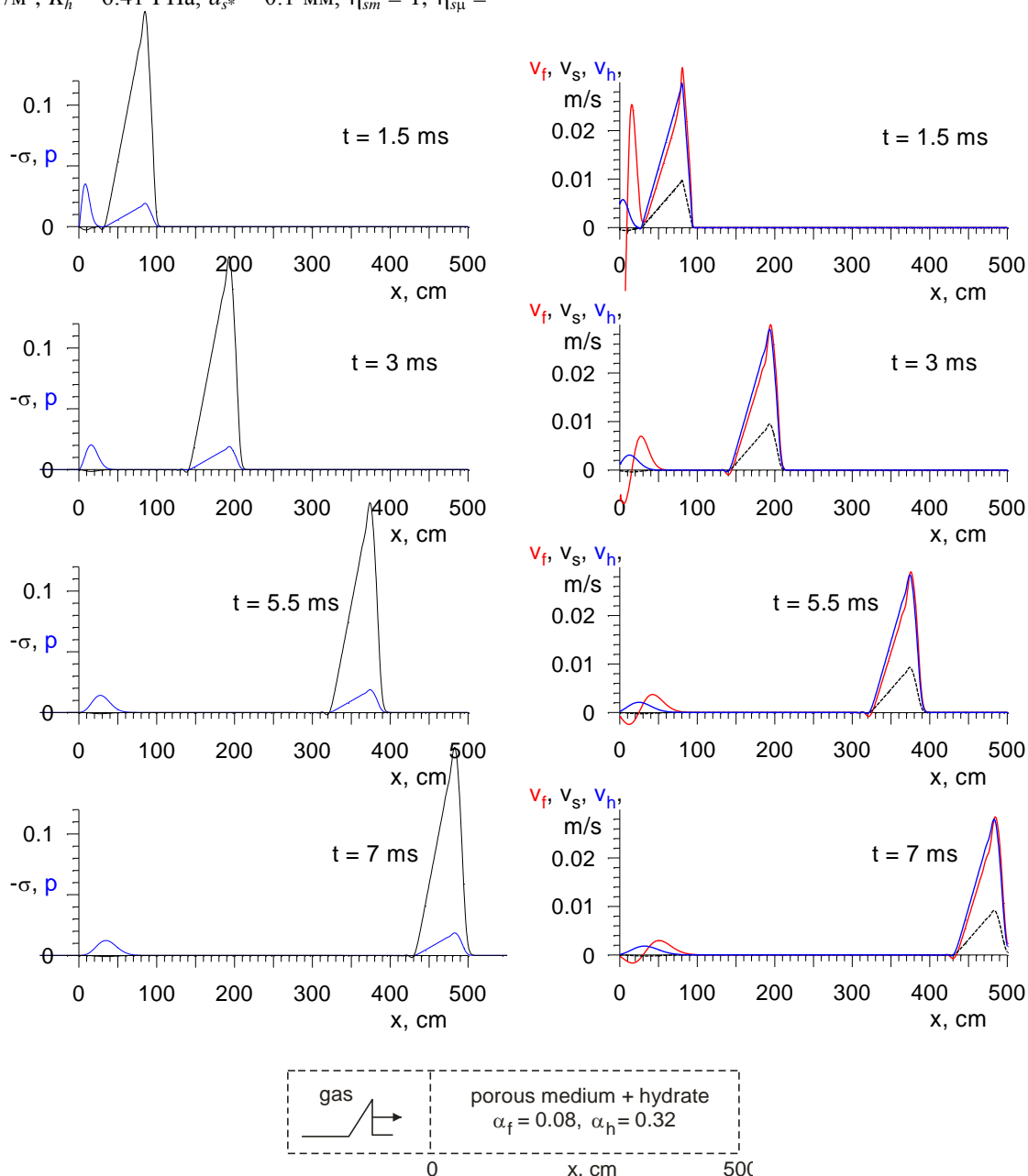


Рис.2. Изменение полного напряжения, порового давления и скоростей фаз при распространении импульса в гидратосодержащей пористой среде, насыщенной метаном

При прохождении импульса из газа в пористую среду формируются две волны – быстрая и медленная. Амплитуды порового давления быстрой и медленной волн в гидратосодержащей пористой среде выше, чем амплитуды этих волн в газонасыщенной пористой среде. В гидратосодержащей пористой среде скорость быстрой волны меньше, чем в пористой среде без гидрата. Затухание и расплывание медленной волны происходит

сильнее в газонасыщенной пористой среде. Заметим, что в быстрой волне скорости газа и гидрата  $v_f$ ,  $v_h$  почти равны друг другу, и существенно превосходят скорость частиц скелета  $v_s$ . В медленной волне  $v_f$ ,  $v_h$  имеют разный профиль. При падении исходной волны на границе  $x = 0$  происходит формирование прошедших и отраженной волн. Заметим, что амплитуды скоростей  $v_f$ ,  $v_s$ ,  $v_h$

прошедших волн значительно меньше амплитуд скоростей падающей и отраженной волн.

Было исследовано прохождение импульса в пористой среде, содержащей участок, частично заполненный газогидратом. При этом возникают волны, прошедшие и отраженные от границ участка, содержащего газогидрат.

Также была рассчитана эволюция импульса в пористой среде, содержащей лед. Было установлено, что изменение давления и напряжения при распространении акустического импульса в такой среде имеет такой же характер, как и в случае пористой среды, содержащей гидрат метана, т.к. лед и гидрат метана близки по акустическим свойствам.

### Заключение

Проведено численное исследование распространения упругих волн в пористой среде, содержащей газ, газовый гидрат или лед. Исследование выполнено в рамках построенной трехскоростной с тремя напряжениями модели при условии отсутствия фазовых переходов.

Рассмотрено как распространение волн в бесконечно-протяженной гидратосодержащей пористой среде, так и прохождение и отражение волн в газонасыщенной пористой среде, содержащей участок, частично заполненный газогидратом.

Установлено, что импульс полного напряжения распространяется в содержащей гидрат газонасыщенной пористой среде без искажения, с некоторым затуханием. С увеличением содержания гидрата в поровом пространстве акустическое сопротивление

увеличивается. При отсутствии фазовых переходов поведение волн в пористой среде, насыщенной гидратом или льдом, практически не отличается. В гидратосодержащей, как и в газонасыщенной пористой среде, наблюдается разделение начального импульса на быструю (деформационную) и медленную (фильтрационную) моды. При увеличении доли гидрата в порах снижается скорость медленной волны, а также увеличивается амплитуда порового давления в быстрой волне.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ РФ (Грант НШ-2669.2014.1).

### Литература

- Тохида Б., Андерсон Р., Масоуди А., Арджманди Дж., Бургасс Р., Янг Дж. 2003. Газогидратные исследования в университете Хериот-Ватт (Эдинбург) // Российский химический журнал. Т. XLVІІ, № 3. – С. 49-58.
- Нигматулин Р.И. 1978. Основы механики гетерогенных сред. – М.: Наука, 336с.
- Нигматулин Р.И. 1987. Динамика многофазных сред. Ч.1. – М.: Наука, 464с.



## Геокриологические условия месторождений им. Р.Требса, им А.Титова (побережье Баренцева моря и Большеземельская тундра)

А.А.Губарьков  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень  
Ю.А.Дворников, А.А.Ишков, А.В.Хомутов, А.С.Якимов  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Е.В.Еланцев  
ОАО «Гипротюменнефтегаз»

### Реферат

Месторождения нефти им. Р.Требса, им. А.Титова, расположены на Европейском севере России. При проведении мониторинга установлено тепляющее влияние климата на температуру многолетнемерзлых пород (ММП) до глубины 30 м в различных ландшафтно-геокриологических условиях. Теплотехнические расчеты изменения температуры ММП на период 30 лет при современных климатических условиях указывают на дальнейшее увеличение их температуры. Исследованы современные экзогенные геологические и криогенные процессы в естественных и техногенных условиях.

**Ключевые слова:** температура многолетнемерзлых пород; криогенные процессы, мониторинг.

### Geocryological Conditions of the R.Trebs and A.Titov Oil-Fields (Barents Sea Coast and Zemlya Tundra)

A.A.Gubarkov  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia  
Yu.A.Dvornikov, A.A.Ishkov, A.V.Khomutov, A.S.Yakimov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
E.V.Elantsev  
JSC Giprotymenneftegaz

### Abstract

Oil fields named after R.Trebs, named after A.Titov, located in the European North of Russia. The warming effect of climate change on permafrost temperature in different landscape and permafrost conditions set to a depth of 30 m. Thermal calculations of the change in temperature of the permafrost held for a period of 30 years. They show a further increase in the temperature of the permafrost under present climatic conditions. Modern exogenous geological and cryogenic processes in natural and man-made environment are investigated.

**Key Words:** the temperature of permafrost; cryogenic processes, monitoring.

### Введение

Режимные геокриологические исследования на Европейском севере России проводятся последние 30–50 лет. В этот период произошло увеличение температуры воздуха в летние и зимние периоды [Павлов Малкова 2005]. Количество осадков, в том числе в зимний период, также увеличилось. Наиболее близко расположенный геокриологический стационар «Болванский», находится в 140 км западнее от месторождения им. Р.Требса. По данным, полученным на стационаре в период 1983–2010 гг., температура многолетнемерзлых грунтов (ММП) повысилась на 0,5...0,8°C, что явилось следствием повышения температуры воздуха с –4,7°C до –4,1°C и увеличения толщины снежного покрова с 61 см (среднегодовое значение) до 80 см в отдельные годы последних десятилетий [Малкова 2010, 2011, Дроздов и др. 2012, Малкова и др. 2014, Romanovsky et al.. 2010].

Согласно данным, полученным на стационарах в районе г. Воркуты и востока Европейского севера России, южные острова ММП полностью протаяли, температура ММП повысилась на 0,22–1,56°C, старые талики углубились и образовались новые [Оберман 2008; 2012].

В 2013 г. проведен геокриологический мониторинг на месторождениях им. Р.Требса, им. А.Титова (рис.1, 2). Месторождение им. Р.Требса расположено в тундровой зоне на побережье Баренцева моря и на ледниково-морской равнине. Абсолютная высота поверхности первой и второй морских террас составляет не более 20 м, увеличиваясь на наиболее возвышенной части месторождения до 100 м над уровнем моря.

Месторождение им. А.Титова расположено в 30–40 км южнее месторождения им. Р.Требса в пределах Большеземельской тундры и занимает водораздельное пространство бассейнов рек, стекающих на север в



Баренцево море и на юг в бассейн р. Печора. Абсолютные высоты достигают 200 м над уровнем моря.

В соответствии с геокриологическим районированием [Казначеева и др. 1988], район относится к подзоне сплошного распространения ММП, температура горных пород изменяется от  $-4$  до  $-1^{\circ}\text{C}$ .

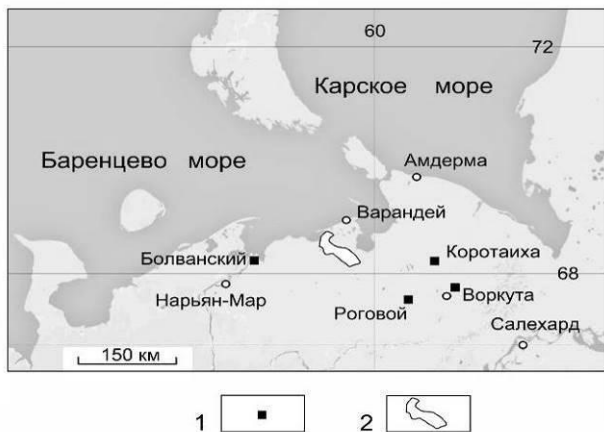


Рис. 1. Район исследований.

1 – действующие объекты мониторинга криолитозоны; 2 – лицензионный участок месторождений им. Р.Требса и им. А.Титова

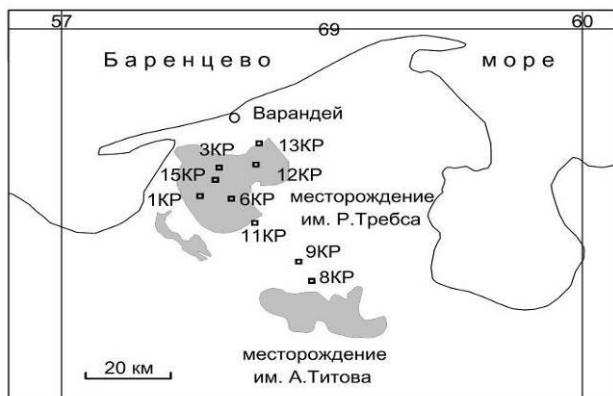


Рис. 2. Месторождения им. Р.Требса, им. А.Титова и расположение термометрических скважин

## Методика наблюдений

В 2013–2014 гг. геокриологические наблюдения на месторождениях включали в себя измерение температуры ММП до глубины 30 м, измерение глубины сезонноталого слоя (СТС) и выявление неблагоприятных и опасных экзогенных геологических и криогенных процессов (ЭГП). Измерение температуры ММП проводилось в термометрических скважинах станциями мониторинга с периодичностью четыре раза в сутки. Измерение глубины СТС проводилось металлическим шупом на пяти створах в различных геоморфологических и ландшафтно-геокриологических условиях. Исследования ЭГП включали аэровизуальные наблюдения и по маршрутам. Скорость смещения грунтов сезонноталого слоя (солифлюкция) и величина сезонного пучения грунтов измерялись на геокриологических площадках одновременно с СТС.

На месторождениях и на территории между ними было пробурено 15 инженерно-геологических скважин глубиной 30 м. Из них оборудовано станциями измерения температуры ММП (логгерами) 9 термометрических скважин.

Наблюдения за ЭГП проведены по маршрутам между термометрическими скважинами на месторождениях и вдоль проектируемого нефтепровода. Общая протяженность маршрутов составила 250 км. Наблюдения включали выявление активности и фиксацию на GPS всех проявлений ЭГП для создания сети режимных наблюдений и возможности повторных обследований.

На месторождении им. Р.Требса выбраны 5 ключевых участков для наблюдения за криогенными процессами в различных типах местности, отличающихся геоморфологическими и геокриологическими условиями. На площадках наблюдения установлены реперы в створах. Общее количество реперов составляет 129. Реперная система необходима для закрепления точек в пространстве для измерения глубины СТС ежегодно в одних и тех же точках. В трех створах эти же репера служат для измерения смещения грунтов СТС на склонах, то есть солифлюкции. Во всех створах установлены пучиномеры для измерения сезонного пучения грунтов.

Расчеты изменения температуры ММП в естественных природных условиях в результате тепляющего влияния снежного покрова выполнены численным методом аналогично РСН 67-87. Проведено моделирование теплофизических процессов в ММП, основой которого являются расчеты теплового взаимодействия ММП с атмосферой (температура воздуха, глубина снежного покрова, скорость ветра). Моделирование включает сезонные процессы промерзания–протаивания ММП, а также тепляющее влияние различной толщины снежного покрова.

Для теплотехнических расчетов приняты шесть разрезов, соответствующие термометрическим скважинам КР1, КР6, КР8, КР9, КР11 (см рис. 2). Разрезы представлены различным составом грунтов, имеющих отличающиеся теплофизические свойства. Супесчаные грунты характерны для всех разрезов. Переслаивание суглинков и супесей происходит в верхних слоях в скважине КР8. Для заболоченных местностей, рассматриваемой территории, характерны торфяные массивы. Скважины КР3 и КР11 с торфом в верхней части разреза.

## Результаты мониторинга

**Термометрические скважины.** По результатам измерения температуры ММП в термометрических скважинах выявлено, что на месторождении им. Р.Требса глубина годовых нулевых амплитуд составила 8–14 м. Среднегодовая температура на поверхности грунтов составила  $+0,4...-1,6^{\circ}\text{C}$ . В период 2013–2014 гг. наблюдались разнонаправленные тренды изменения температуры ММП в слое годовых теплооборотов. В большинстве скважин температуры повысились на

0,4...0,6°C. Только в одной скважине температура понизилась.

В полосе отвода земель нефтепровода «Месторождение им. А.Титова – месторождение им. Р.Требса» глубина годовых нулевых теплооборотов составила 8–12 м. Средняя температура на поверхности грунтов составила -1,1...-2,8°C. В период 2013–2014 гг. во всех скважинах наблюдалась тренды повышения температуры ММП в диапазоне 0,1...0,6°C.

Среднее значение повышения температуры ММП на исследованной территории в 2013–2014 гг. в верхней части слоя годовых теплооборотов (4–8 м) составило 0,4°C. На более глубоких уровнях температура остается стабильной.

Температура ММП в скважинах на глубине годовых нулевых амплитуд находится в высокотемпературном и пограничном к высокотемпературному диапазоне от -2,9°C до -1,1°C. Температура грунтов на глубине ниже годовых амплитуд температур ММП до глубины 30 м имеет тенденцию повышения во всех скважинах на 0,13...1,5°C.

Для выбранных разрезов проведены три варианта расчетов, которые позволяют определить температуры грунтов ММП при максимальной, минимальной и среднемноголетней глубине снежного покрова. Температура воздуха и ветра приняты как современные среднемноголетние. В одном варианте расчетов глубина снега принята для закрытой площадки. Во втором варианте принята глубина снега для открытой площадки. Закрытый тип площадки характерен для зарослей кустарника, ложбин стока, долин рек и т.д. Открытые площадки являются аналогом выпуклых водоразделов, плоскобугристых и выпуклобугристых торфяников, бровок склонов и т.д.

Согласно полученным расчетными методами данным существующие в настоящее время геокриологические условия при климатической норме температуры воздуха, скорости ветра и глубине снежного покрова приводят к формированию заглубленной кровли ММП в отдельных типах ландшафтов. Повышенное снегонакопление относительно климатической нормы приводит к деградации ММП в большинстве существующих ландшафтов и заглублению кровли до 9 м. Уменьшение глубины снежного покрова снижает глубину протаивания СТС до 0,3–1,0 м в летний период и существенно понижает температуру ММП.

Полученные данные согласуются с результатами исследований для зоны распространения ММП всей территории России [Малкова и др. 2014].

Геокриологические площадки. Измерения сезонноталого слоя на площадках наблюдения показало, что на водоразделах и пологих склонах средняя глубина протаивания составляет 80–90 см. На крутых склонах западной и южной экспозиции глубина протаивания увеличивается до 100–115 см. В 2014 г. глубина СТС на склонах уменьшилась на 8–10 см по сравнению с 2013 г.

На заболоченных торфяниках и в хасырях средняя глубина протаивания составляет 60 см. Уменьшение

глубины протаивания в 2014 г. по сравнению с 2013 г. составило 4–6 см.

Полученные данные глубины СТС близки к аналогичным на стационаре «Болванский» [Малкова 2011]. Межгодовое отличие глубины СТС объясняется теплым летним сезоном 2013 г. и холодным в 2014 г.

Измерения величины сезонного пучения грунтов показали, что его величина составляет 4–60 мм. Максимальное пучение отмечено в верхней и нижней частях склонов. На части пучиномеров установлена тесная связь между глубиной протаивания СТС и величиной пучения грунтов.

Измерения смещения талых грунтов СТС (солифлюкции) проведены в сентябре 2014 г. На склонах площадок наблюдения величина смещения тиксотропных грунтов составила 10–80 мм. На двух склонах, длиной по 200 м каждый, солифлюкции подвержено от 70 до 90 м или 35–40% длины склонов. Выявлены зависимости смещения грунтов на склоне от удаления от вершины, то есть чем ниже по склону, тем больше величина смещения. Также выявлена зависимость величины смещения от глубины протаивания СТС, чем глубже СТС, тем больше смещение грунтов.

На месторождении им. Р.Требса в естественных природных условиях выявлены большинство экзогенных геологических и криогенных процессов и образуемых ими форм, характерных для равнин тундровой зоны. В зависимости от литологических и геоморфологических условий происходит смена одних комплексов процессов другими. В естественных природных условиях повышенной активностью отличались процессы криогенного оползания, эрозионно-термокарстовые, термосуффозионно-термокарстовые.

К опасным процессам относятся русловые процессы на берегах малых рек, криогенные оползни скольжения и течения, среди которых доминируют последние. Просадки и термокарст являются опасными процессами, развитие которых наблюдается в настоящее время по повторно-жильным льдам и при глубоком протаивании ММП на минеральных грунтах. Многолетнее пучение на пылеватых и пучинистых грунтах также является опасными криогенными процессами. По итогам проведения работ в 2013–2014 гг. были выявлены просадочные формы рельефа, являющимися результатом термокарстово-термосуффозионных процессов.

К неблагоприятным процессам следует причислить медленную солифлюкцию, дефляцию, криотурбацию (пятна-медальоны), нивацию.

Наиболее активными процессами в техногенных условиях были эрозия и подтопление автодороги. На одной из кустовых площадок активно развивается тиксотропное оползание и течение грунтов при снеготаянии (ниваии). Напротив, на центральном пункте сбора нефти отмечено резкое снижение активности процессов после проведения комплекса противоэрозионных работ, укреплению грунтов отсыпки и работ по устранению подтопления территории.



Под зданиями с проветриваемыми подпольями, построенными по первому принципу с сохранением грунтов в мерзлом состоянии, происходит подтопление. Следствием будет протаивание ММП и, возможно, осадка или просадка грунтов основания.

Основными ЭГП в период строительства и начального этапа эксплуатации на месторождении им. Р. Требса являются подтопление и эрозия. Это типичные для данных этапов освоения процессы. Их устранение проводится в процессе эксплуатации системой противоэрозионных и противопаводковых мероприятий со строительством соответствующих конструкций и укреплением откосов площадных и линейных сооружений.

Месторождение им. А.Титова в естественных природных условиях также характеризуется многообразием ЭГП и образуемых ими форм. Наиболее активными процессами в период проведения мониторинга были термокарстово-термосуффозионные просадки, нивация, криогенное оползание, дефляция, сезонное пучение. По количеству просадок грунтов месторождение им. А.Титова значительно превосходит месторождение им. Р.Требса. На месторождении также более активно развиты процессы термоэрозии и эрозионно-термокарстовые процессы.

Обследование автодорог показало, что часть грунтов, которыми они отсыпаны, подлежала замене из-за тиксотропных свойств. Рельеф территории способствует подтоплению отдельных участках дорог. При концентрации потоков воды происходят подмывы откосов дорог. Большинство наиболее опасных участков размыва и подтопления устранено или велись работы по устранению.

Кустовые площадки менее подвержены процессам солифлюкционного оползания и течения грунтов отсыпки по сравнению с месторождением им. Р.Требса, что может быть связано с меньшим количеством пылеватой фракции в грунтах.

К неблагоприятным и опасным ЭГП относятся те же процессы, что и на месторождении им. Р. Требса.

На нефтепроводе «Месторождение им. А.Титова – месторождение им. Р.Требса» наиболее активными процессами в период проведения работ были русловые и склоновые процессы, дефляция, нивация. Русловые процессы на р.Наульяха являются наиболее активными по сравнению с другими реками месторождений. Нефтепровод проходит через малые реки, в руслах которых выявлены активно развивающиеся эрозионные и эрозионно-термокарстовые процессы. В непосредственной близости от нефтепровода и в его створе происходит образование таликов с образованием заглубленной кровли ММП.

На нефтепроводе «Месторождение им. Р.Требса – терминал ОАО «Лукойл» основным процессом является заболачивание. В настоящее время происходит деградация полигональных торфяников с вытаиванием повторно-жильных льдов, разрушением полигонов, образованием водоемов на их поверхности. Берега заболоченных ручьев и рек глубоко протаивают и под

ними образуются талики. Многолетние бугры пучения не превышают высотой одного метра и часто при протаивании и подтоплении разрушаются.

Эрозия и термоэрозия около нефтепровода происходит по колеям. Наиболее длинные промоина и овраг образовались в 400 м от внутривидовой автодороги месторождения им. Р.Требса. Эрозионные процессы могут возникнуть как вдоль нефтепровода, так и в поперечном направлении. Длина эрозионных форм рельефа составляет несколько десятков метров. Измерения показали, что происходит прирост их длины за счет попятного отступления откосов.

## Литература

- Дроздов Д.С., Малкова Г.В., Украинцева Н.Г., Коростелев Ю.В., 2012. Мониторинг геокриологических условий южнотундровых ландшафтов Европейского Севера и Западной Сибири // 10-я Международная конференция по мерзлотоведению, ТАСОР: Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире, Салехард, т. 3, с. 159–164. 50.
- Казначеева И.А., Суходольский С.Е., Горбачёва В.М., Оберман Н.Г., Овчинников О.П., 1988. Мало-Большеземельский регион, Геокриология СССР. Том I. Европейская территория СССР. М., Недра, с. 275-301.
- Малкова Г.В. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский, 2010. Криосфера Земли т. XIV, №3, с. 3–15.
- Малкова Г.В., Губарьков А.А., Дроздов Д.С., Лейбман М.О., Хомутов А.В., Шестрюков А.Б., 2014. Многолетняя мерзлота, Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Основной том. М., Росгидромет, с. 410-458.
- Оберман Н.Г., 2007. Глобальное потепление и изменения криолитозоны Печоро-Уральского региона. Разведка и охрана недр. №4, с. 63–68.
- Оберман Н.Г., 2012. Многолетний режим температуры криолитозоны Европейского северо-востока в течение современного потепления климата, 10-я Международная конференция по мерзлотоведению, ТАСОР: Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире, Салехард, т. 3, с. 359–364.
- Павлов А.В., Малкова П.В., 2005. Современные климатические изменения на севере России. Альбом мелкомасштабных карт. – Новосибирск, Академическое издательство «Гео», 54 с.
- Romanovsky V. E., Drozdov D. S., Oberman N. G., Malkova G. V., Kholodov A. L., Marchenko S. S., Moskalenko N. G., Sergeev D. O., Ukraintseva N. G., Abramov A. A., Gilichinsky D. A., Vasiliev A. A., 2010. Thermal State of Permafrost in Russia, Permafrost and Periglacial Processes, vol. 21, pp. 136–155.



## Новый подход к кристаллографии газовых гидратов

С.В.Гудковских, М.В.Киров.  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Представлены результаты исследования структуры каркасов газовых гидратов с применением топологической кристаллографии. Построены конечные графы, топологически полностью эквивалентные бесконечным каркасам с периодическими граничными условиями. Такие фактор-графы являются альтернативной и очень удобной формой представления структуры льдоподобных систем. Они хорошо подходят для изучения протонного беспорядка и топологии водородного связывания. С помощью построенных фактор-графов получена точная статистика протонного беспорядка в рассмотренных элементарных ячейках каркасов КС-I и ГС-III. Выполнен статистический анализ случайного переноса протона по цепочкам Н-связей.

**Ключевые слова:** газовые гидраты, протонный беспорядок, топологическая кристаллография.

### A New Approach to Gas Hydrates Crystallography

S.V.Gudkovskikh, M.V.Kirov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

The results of studies of the structure of gas hydrates structures using topological crystallography are presented. Finite graphs were built that are topologically fully equivalent to infinite structures with periodic boundary conditions. Such quotient graphs are an alternative and very convenient form of representation of the structure of ice-like systems. They are well suited for the study of proton disorder and topology of hydrogen bonding. With constructed quotient graphs obtained accurate statistics proton disorder in the reviewed unit cells cubic structure I and hexagonal structure H. A statistical analysis of random proton transfer along hydrogen-bonded chains was carried out.

**Key Words:** gas hydrates, proton disorder, topological crystallography.

### Введение

Интерес к изучению свойств газовых гидратов обусловлен главным образом их важным практическим применением, т.к. они являются одним из основных источников энергии [Sloan. & Koh 2007]. Вместе с тем газовые гидраты, как и другие льдоподобные системы, обладают очень необычной структурой и интересными свойствами. И хотя в настоящее время кристаллография представляет собой сложившуюся и хорошо обоснованную науку, но для описания структуры газогидратных каркасов и даже обычного льда стандартных методов кристаллографии оказывается явно не достаточно. Это связано с тем, что лед газы гидраты не являются кристаллами в обычном смысле этого слова. Кристаллическая решетка этих систем определяется только расположением атомов кислорода. Атомы водорода (протоны) находятся в неупорядоченном состоянии. При теоретическом описании структуры льдоподобных систем следует принимать во внимание многообразие и разнообразие протонных конфигураций, а также динамическую изменчивость структуры протонной подсистемы. В этой ситуации могут представлять интерес репрезентативные наборы протонных конфигураций, наиболее адекватно отображающие разнообразие их свойств. Особый интерес представляют наборы всех протонных конфигураций

элементарных или расширенных ячеек с периодическими граничными условиями, которые могут быть использованы для компьютерного моделирования.

При компьютерном моделировании газовых гидратов обычно используют только одну протонную конфигурацию. Периодические граничные условия для льдоподобных систем предполагают, что ориентация молекул воды должна быть скоординирована не только внутри элементарной ячейки, но и на противоположных границах этой ячейки. Построение и перечисление такого рода сильно коррелированных структур представляет собой чрезвычайно сложную задачу комбинаторной оптимизации. Однако, оказывается, существует альтернативный подход, который позволяет обойти проблему согласования ориентаций молекул на противоположных гранях элементарной ячейки. Этот подход основан на так называемой топологической кристаллографии [Sunada 2012].

Одним из важнейших понятий топологической кристаллографии является фактор-граф кристаллической структуры. Фактор-граф – это конечный образ бесконечной кристаллической структуры, он абсолютно точно отображает топологию межмолекулярного связывания. При этом бесконечная периодическая структура отображается на конечный объект (кластер) путем соединения между собой трансляционно-тождественных межмолекулярных связей. При таком

топологическом преобразовании сильно искажается геометрия объекта, но топология связывания полностью сохраняется. Компактность полученного образа структуры сильно упрощает исследование свойств газовых гидратов, включая случайный перенос протонов по цепочкам водородным связям.

### Топологическое замыкание и фактор-графы

#### Гексагональный лёд

Рассмотрим в качестве более простого и наглядного примера построение фактор-графа для гексагонального льда, элементарная ячейка которого содержит всего лишь 8 молекул воды (рис.1а).

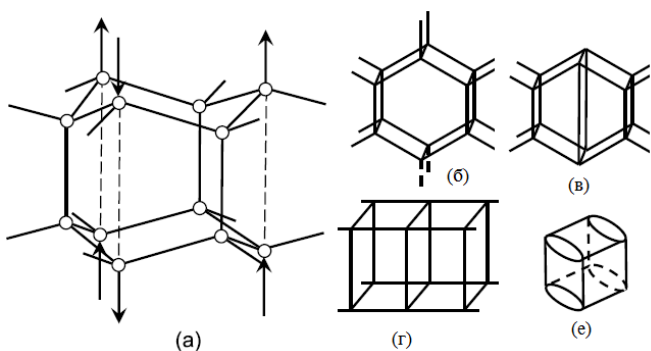


Рис. 1. Топологическое преобразование гексагонального льда не изменяет статистику протонных конфигураций: (а) структура гексагонального льда; (б, в, г) топологические преобразования фрагмента льда; (е) конечный фактор-граф элементарной ячейки гексагонального льда.

Положение протонов на связях удобно задавать с помощью стрелок (обычно от донора к акцептору протона). Из-за периодических граничных условий в вертикальном направлении расположенные друг под другом стрелки (рис.1а) направлены одинаково. Одно лишь это условие приводит к тому, что весь кристалл в комбинаторно-топологическом смысле становится эквивалентен бислою льда, образованному соединением двух гексагональных монослоев (рис.1б).

При дальнейших топологических преобразованиях структуры (рис.1б, в, г) получаем одномерно расширенную элементарную ячейку льда с периодическими граничными условиями в поперечных направлениях (рис.1г). Топологическое замыкание в оставшемся продольном направлении дает структуру (рис.1е), которая и является фактор-графом кристаллической решетки гексагонального льда с периодическими граничными условиями на гранях элементарной ячейки. В данном случае появление искусственных двухугольных циклов обусловлено малым размером использованной ячейки.

Использованные топологические преобразования структуры газогидратных каркасов облегчают, в частности, подсчет общего числа бездефектных протонных конфигураций, подчиняющихся известным правилам льда Бернала-Фаулера [Bernal & Fauler 1933]. При теоретико-графовом изображении структуры льдоподобных систем эти правила эквивалентны тому,

что в каждой вершине две стрелки являются входящими и две выходящими.

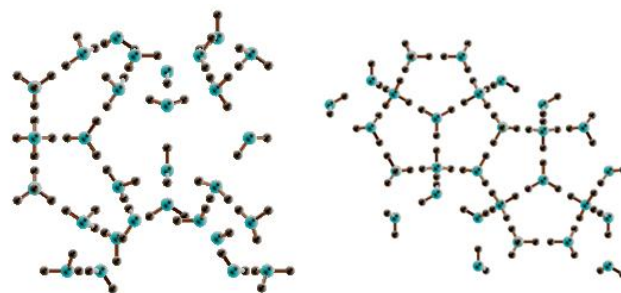


Рис. 2. Элементарные ячейки структур КС-I и ГС-III.

#### Фактор-графы элементарных ячеек клатратных гидратов КС-I и ГС-III

Элементарная ячейка каркаса газового гидрата КС-I содержит 46 молекул воды, ГС-III – 34 молекулы (рис.2).

Можно предложить много вариантов изображения одного и того же фактор-графа. Наиболее наглядным, на наш взгляд, является изображение, в котором вся сетка Н-связей расположена внутри отдельной полости. Для этого случая мы опробовали простой алгоритм вычисления координат всех вершин фактор-графа:

1. Задать и зафиксировать координаты вершин отдельной полости.
2. Пронумеровать все вершины и задать связи, не принадлежащие полости, т.е. указать пары номеров вершин каждой связи с учетом периодических граничных условий.
3. Записать сумму квадратов длин всех связей, не принадлежащих полости, как функцию свободных координат.
4. Минимизируя эту функцию, найти координаты свободных вершин, которые располагаются внутри полости.

Здесь можно учесть, что условие минимума суммы квадратов длин связей (равенство частных производных нулю) эквивалентно некоторой системе линейных уравнений. Хотя можно и сразу воспользоваться программами вычисления минимума функции многих переменных. Полученные вершины с помощью элементарных преобразований можно легко перераспределить в радиальных направлениях от центра полости, сгущая их к центру или, наоборот, разрезая центральную часть. Подобный алгоритм был использован ранее для построения плоских изображений газогидратных структур (диаграмм Шлегеля) [Kirov 2003].

Элементарная ячейка каркаса газового гидрата КС-I (рис.3а) содержит малую полость D, состоящая из 20 молекул воды, и 8 внутренних молекул, которые обозначены белыми кружками. Кроме того, 6 молекул расположены на каждой стороне куба элементарной ячейки. Эквивалентные водородные связи обозначены жирными линиями.

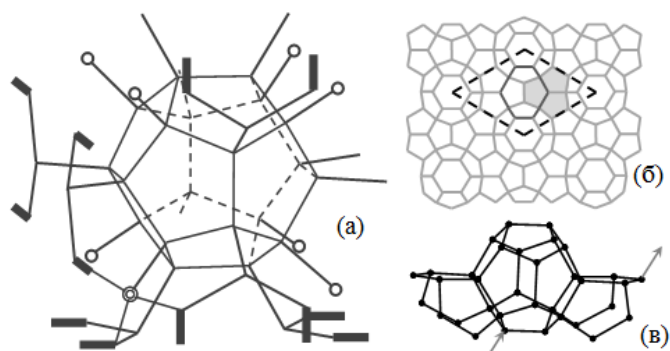


Рис. 3. (а) – позиции атомов кислорода молекул воды и водородные связи в элементарной ячейке КС-I; (б) – ГС-III, содержащая полость D (в центре), D' (серый цвет), и E (вокруг элементарной ячейки); (в) – позиция атома кислорода в элементарной ячейке ГС-III и две эквивалентные водородные связи (серые стрелки).

Наглядность и понятность фактор-графов существенно зависит от конкретного расположения вершин. Расположение внутренних вершин фактор-графа (рис.4а) в форме куба было получено с помощью изложенного выше алгоритма и дополнительного перераспределения внутренних точек в радиальном направлении. Однако здесь важную роль сыграл тот факт, что кубическая симметрия ячейки хорошо согласуется с симметрией внешней полости. Вторая версия фактор-графа, построенная на базе полости Т менее удобна (рис.4б). Поиск наиболее наглядного изображения фактор-графа представляет собой отдельную задачу. Но важно подчеркнуть, что здесь мы имеем два геометрически разных изображения одного и того же фактор-графа. Оба они представляют одну и ту же элементарную ячейку с периодическими граничными условиями. Поэтому вполне достаточно иметь хотя бы один удобный для использования фактор-граф.

Структура ГС-III (рис.3б) содержит 3 типа полостей, две малые полости D и D', которые состоят из 20 молекул воды. Так же в этой структуре присутствует большая полость E, состоящая из 36 молекул. В целом на элементарную ячейку приходится 34 молекулы воды. Поэтому, построение фактор-графа на основе большой полости E затруднительно.

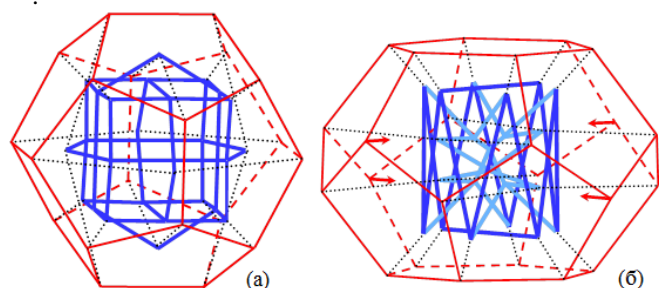


Рис. 4. Фактор-графы элементарной ячейки структуры КС-I.

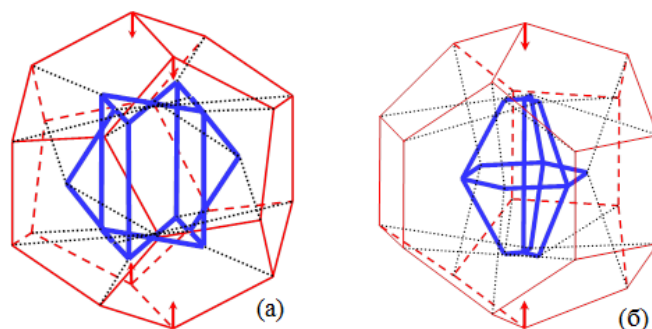


Рис. 5. Фактор-графы элементарной ячейки структуры ГС-III.

Для каркаса ГС-III были построены фактор-графы на базе обеих малых полостей D и D' (рис.5а, б). Путем непрерывных преобразований координат в обоих случаях удалось получить достаточно наглядные и удобные для использования фактор-графы. Первоначально для построения фактор-графов нами был использован изложенный выше алгоритм. Были выполнены также дополнительные преобразования с целью сделать наиболее наглядной внутренние части фактор-графов.

## Основные результаты

В данной работе впервые представлен алгоритм построения фактор-графов газогидратных каркасов. Построены фактор-графы структуры газовых гидратов КС-I и ГС-III. Для каждого из каркасов построено по два фактор-графа на основе различных газогидратных полостей. Согласованность полученных результатов с более ранними результатами по статистике протонного беспорядка свидетельствует о достоверности и надежности разработанного алгоритма для анализа структуры протонной подсистемы каркасов газовых гидратов.

## Литература

- Bernal, J.D. & Fowler, R.H. 1933. *J. Chem. Phys.* 1, 515–548.  
 Gudkovskikh, S.V. & Kirov, M.V. [in press]. *Topological Crystallography of Gas Hydrates*.  
 Kirov, M.V. 2003. *J. Struct. Chem.* 44, 420–428.  
 Sloan, E.D. & Koh, C.A. 2007. *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. CRC Press. P. 721  
 Sunada, T. 2012. *Jpn. J. Math.* 7, 1–39.

## Поиски газлирующих объектов по радиофизическим свойствам ледяного покрова

А.А.Гурулев, Г.С.Бордонский, А.О.Орлов, С.В.Цыренжапов  
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН  
672014, Чита, Недорезова 16-а, а/я 521 lgc255@mail.ru

И.И.Железняк

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Забайкальский государственный университет»  
672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, д. 30

### Реферат

Предлагается совместное использование спутниковых радарных и самолетных радиометрических систем для поиска газлирующих объектов, выходящих под дно водоемов с неподвижным пресным льдом. В этом случае достигается близкое пространственное разрешение. Представлены результаты исследований для оз. Шакшинского в Забайкальском крае для SAR COSMO-SkyMed (длина волны 3 см) и радиометров, установленных на автомобиль. Обнаружено донное газоотделение, определяемое деструкцией донных органических отложений.

**Ключевые слова:** газлирующее месторождение; ледяной покров; радиозондирование.

### Search of Liberation Objects from Radiophysical Properties of Ice Cover

A.A.Gurulev, G.S.Bordonskiy, A.O.Orlov, S.V.Tsyrenzhapov  
Institute of Natural resources, Ecology and Cryology SB RAS

I.I.Zheleznyak

Transbaikal State University

### Abstract

Satellite radar and airplane radiometric measurements are suggested for search of gas bottom liberation of the deposits. In this case the equal spatial resolution achieved. The results of investigation of SAR COSMO-SkyMed (wavelength 3 cm) and car radiometric system (wavelength 2.3 cm) were presented. There are founded bottom liberation from bottom organic deposits.

**Key Words:** gas bottom liberation; ice cover; radio sound.

Радиолокационные методы изучения состояния поверхности широко используются в полярных регионах. Это связано с тем, что микроволновое излучение распространяется через облачные покровы, туманы без существенного ослабления. Кроме того, для радиолокации не требуется подсветка объектов солнечным излучением. Существуют два вида радиолокации: активная (радарные измерения) и пассивная (радиометрия). В первом используется зондирующий сигнал, излучаемый специальным устройством, во втором – собственное тепловое излучение объекта на частотах микроволнового диапазона. Известны многочисленные задачи определения состояния объектов поверхности Земли [Sharkov 2003]. Одной из задач для регионов, где длительное время преобладают отрицательные температуры, является изучение свойств ледяных покровов как индикаторов состояния природной среды [Бордонский 1990]. В частности, в работах [Бордонский, 1990, Бордонский и др. 1992] был предложен метод определения областей пресного льда с повышенной концентрацией в нем газовых включений. Избыточная концентрация газов может появляться во льду вследствие донного газоотделения, связанного с деструкцией донных

органических отложений, разложением криогидратов, а также выходе газов из угольных, газовых и нефтяных месторождений.

В зимний период времени, когда акватория водоема покрыта неподвижным льдом, газы накапливаются в определенных областях ледяного покрова, создавая предпосылки для их дистанционной регистрации. Хотя в [Бордонский 1990, Бордонский и др. 1992] показана возможность использования микроволновой радиометрии для поисков газлирующих объектов, выходящих под дно водоема, но ее использование пока было ограничено самолетными системами дистанционного зондирования. Эти системы по своей производительности значительно уступают спутниковым системам активного зондирования – радарам с синтезированной апертурой (SAR). SAR дает в настоящее время пространственное разрешение порядка нескольких десятков сантиметров [Митник и др. 2013], что может быть достигнуто для радиометрических систем только при полетах самолетов на небольших высотах. Эта особенность связана со способами формирования и обработки сигналов в двух методах зондирования. Однако эта разница приводит и к возможности получения более полной информации при



их одновременном использовании [Бордонский и др. 2014].

В настоящей работе предлагается применять совмещенную систему космического SAR и радиометрической системы для определения участков ледяных покровов с газовыми включениями. Первая используется для предварительного обнаружения возможных выходов газов, а вторая для уточнения вида объекта. Как показано в [Бордонский и др. 2014] эти два способа дополняют друг друга (а не дублируют, как иногда представляется), особенно, если достигается одинаковое пространственное разрешение.

Проверка предложенного способа была выполнена на оз. Шакшинском, входящем в систему Ивано-Арахлейских озер в Забайкальском крае. Использовалось изображение системы SAR итальянского космического агентства COSMO-SkyMed на длину волны 3 см, а также наземные радиометрические измерения на волне 2,3 см при помощи радиометра, установленного на автомобиль. При этом был произведен отбор образцов льда для определения генезиса газовых включений. В процессе исследования анализировали также оптические изображения ледяного покрова, полученные с борта самолета. Предварительные данные указывают на то, что основным источником газов являются донные органические отложения.

## Литература

- Sharkov E.A. 2003. Passive Microwave Remote Sensing of the Earth: Physical Foundations // Springer/PRAXIS. Berlin, Heidelberg, London, New York etc. 613 p.
- Бордонский Г.С. 1990. Тепловое излучение ледяного покрова пресных водоемов. –Новосибирск: Наука. – 104 с.
- Бордонский Г.С., Гурулев А.А., Орлов А.О., Цыренжапов С.В. 2014. Различие картин радарных и радиометрических измерений (на примере ледяного покрова эвтрофированного озера) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 11. № 2. С. 228-240.
- Бордонский Г.С., Крылов С.Д., Поляков С.В. 1992. Особенности радиояркости пресного ледяного покрова, содержащего газовые включения // Исследование Земли из космоса. № 5. С. 13 – 21.
- Митник Л.М., Митник М.Л., Заболотских Е.В. 2013. Спутник Японии GCOM-W1: моделирование, калибровка и первые результаты восстановления параметров океана и атмосферы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 10. № 3. С. 135-141.



## Изучение кинетических параметров роста бактерий рода *Bacillus*, выделенных из многолетнемерзлых пород (Западная Сибирь, ЯНАО)

О.В.Доманская  
Учреждение Российской Академии Наук ТюмНЦ СО РАН  
В.О.Доманский, А.Ю.Кулакова  
ТюмГНГУ Институт криогенных ресурсов

### Реферат

Изучены кинетические параметры роста девяти штаммов бактерий рода *Bacillus*, выделенных из многолетнемерзлых пород месторождения Дремучее (Пуровский район, ЯНАО), с целью оптимизации условий культивирования и определения времени синтеза вторичных метаболитов. При культивировании бактерий в жидкой питательной среде были определены такие параметры роста, как длительность фазы роста, удельная скорость роста, время генерации. Периодическая культура позволяет моделировать рост природных микробных популяций, что позволит создать высокоэффективный биопрепарат.

**Ключевые слова:** бактерии из мерзлых отложений, *Bacillus*, кинетика роста, периодическая культура.

### The Study of the Growth Kinetic Parameters of the Bacteria *Bacillus* spp, Isolated from Permafrost (West Siberia, Yamal)

TSOGU Institute of cryogenic resources, Tyumen  
O.V.Domanskaia  
Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS  
V.O.Domanskii, A.Yu.Kulakova,  
TSOGU Institute of cryogenic resources, Tyumen

### Abstract

The kinetic parameters of periodic growth of nine strains bacteria of the genus *Bacillus* which are isolated from permafrost of Dremuchee field (Yamal), in order to optimize the conditions of cultivation and to determine when the synthesis of secondary metabolites was studied. At cultivation of bacteria in liquid cultures according such parameters of periodic growth as duration of a growth phase, specific growth rate and generation time duration lag-phase. Periodic culture allows you to modeling the growth of natural microbial populations that will create high-performance biological product.

**Key Words:** bacteria from permafrost, *Bacillus*, growth kinetics, periodic culture.

### Введение

В последние десятилетия благодаря достижениям отечественных и зарубежных исследователей, в вечномерзлых отложениях Евразии и Северной Америки было обнаружено много новых видов микроорганизмов, а так же показано, что действие постоянно-отрицательных температур и криогенных процессов оказывает особое влияние на формирование разнообразия микробиоты в ММП, криопэгах и подземных льдах [Губин Максимович Занина и др. 2003; Gilichinsky Rivkina Laurinavichius et al 2003; Kudryashova Suzina Ariskina et al 2013; Margesin 2008 и др].

Промышленная биология использует экологическую адаптацию микроорганизмов, которые способны выживать в суровых природных условиях. Микроорганизмы, адаптированные к действию низких температур не достаточно изучены и являются потенциальными источниками новых физиологически активных веществ используемые в биотехнологии. [Морозкина Слуцкая Федорова и др. 2010].

Одним из перспективных и востребованных направлений микробиологии является поиск новых бактериальных штаммов для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. При этом использование биопрепаратов может преследовать различные цели: защиту растений и урожая от фитопатогенов, стимуляцию прорастания семян и роста растений, улучшение питания растений и т.д. Используемые на сегодняшний день биологические фунгициды основаны на биомассе бактерий рода *Bacillus* и *Pseudomonas*. Однако, большинство существующих микробиологических биопрепаратов зачастую оказываются неконкурентоспособными в естественных микробценозах. Несмотря на большое количество уже существующих биопрепаратов поиск и выделение высокоэффективных биофунгицидов комплексного действия продолжает оставаться актуальным. Потенциальными биологическими агентами, перспективными для защиты растений от фитопатогенов могут быть микроорганизмы, выделенные и мерзлых отложений, в частности бактерии рода *Bacillus* в силу их выраженного природного антагонизма ко многим

фитопатогенным грибам. Представители рода *Bacillus* отличаются высокой выживаемостью во внешней среде, толерантностью к антропогенным воздействиям, технологичностью в производстве и применении [Мелентьев 2007].

Создание эффективных биопрепаратов предполагает изучение физиологических свойств бактерий. Важным аспектом таких исследований в условиях *in vitro* являются особенности роста микроорганизмов. Кинетические исследования параметров роста бактерий позволяют выяснить особенности их поведения и количественно оценить интенсивность метаболизма в меняющихся условиях окружающей среды.

Цель настоящей работы – изучение кинетики роста бактерий, для решения задач оптимизации условий культивирования и определения времени инициации синтеза вторичных метаболитов (регуляторы роста, пигменты, антибиотики и др.).

### Материалы и методы исследования

Объектами исследований служили штаммы 9 грамположительных спорообразующих бактерий рода *Bacillus*, изолированных из многолетнемерзлых пород месторождения Дремучее (Пуровский район, ЯНАО).

Культуры бактерий поддерживали на мясо-пептоном агаре, с ежемесячными пересевами на свежую питательную среду. Для кинетических исследований применяли синтетическую среду следующего состава (мг/л):  $K_2HPO_4$  – 1,0;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,5;  $(NH_4)_2SO_4$  – 2,0; пептон – 2,0; дрожжевой экстракт – 5,0; глицерин – 5,0. В качестве инокулянта использовали односуточную культуру, полученную на основной синтетической среде.

Культивирование осуществляли при температуре +20°C и +5°C в колбах с объемом питательной среды 100 мл и предварительным внесением маточной культуры (2% от объема питательной среды) на шейкере (LOIP LS-120, Россия, 140 об/мин). Измерение биомассы, по показателям оптической плотности суспензии, проводили спектрофотометрическим методом на спектрофотометре UNICO-2800 (С.Ш.А.), при длине волны 540 нм и толщине кюветы 1 см, каждые 2 часа в течение 14 часов при температуре культивирования +20°C и каждые 3 часа при +5°C. По полученным данным, строили кинетические кривые роста бактерий. Параметры периодического роста микроорганизмов определяли согласно рекомендациям [Перт 1978].

Математическую обработку опытных данных проводили с использованием программного средства для анализа данных и визуализации R, версия 3.1.3 (Free Software Foundation, Inc Boston, MA).

### Результаты и обсуждение

Одним из главных принципов промышленной биотехнологии, использующей в качестве биологических объектов микроорганизмы, является производственное культивирование, с целью увеличения микробной биомассы и получения продуктов метаболизма.

При культивировании микроорганизмов наибольшее значение имеет выбор оптимальных условий. Температура – один из важнейших экологических факторов, который обеспечивает максимальный рост и выход целевого продукта. Температура среды влияет на скорость ферментативных реакций и на структуру клеточных компонентов.

Периодическая культура в своем развитии проходит четыре основные фазы: лаг-фазу (адаптация к новой среде), экспоненциальную (увеличение скорости роста), стационарную (снижение скорости роста) и фазу отмирания (дегенерация популяции). Синтез бактериями вторичных метаболитов возрастает в конце экспоненциальной и достигает максимума в стационарной фазе [Timmusk Nicander Granhall Tillberg 1999].

Результаты кинетических исследований при периодическом культивировании бактерий рода *Bacillus* представлены в табл. 1.

Продолжительность лаг-фазы при температуре культивирования +20° в среднем составляет 2-4 ч, а при +5° 15 – 68 ч, что свидетельствует о более длительном адаптационном периоде. Экспоненциальная фаза была зафиксирована от 4 до 10 ч при +20° и от 27 до 117 ч при температуре инкубирования +5°. Стационарная фаза отмечалась уже после 10 часов культивирования при +20° и 72 часов при +5°. В стационарной фазе происходит максимальное накопление вторичных метаболитов бактерий.

Каждая из девяти культур бактерий обладает специфической кривой роста. Тем не менее, кинетических кривые роста бактериальных штаммов обладают некоторым сходством. Результаты кинетических параметров роста в периодической культуре, позволили разделить бактериальные штаммы на две группы: быстро- и медленно растущие рис.1, рис.2, рис.3.

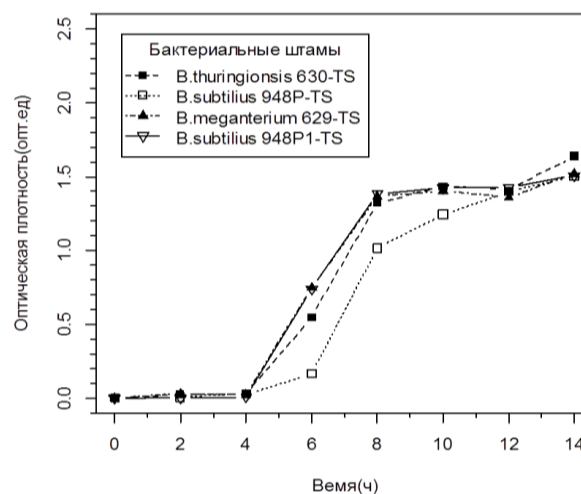


Рис.1 Кинетические кривые роста бактериальных штаммов, при температуре культивирования +20°C (быстрорастущие).

Штаммы *B. subtilius* 948P1-TS, *B. meganterium* 629-TS и *B. thuringiensis* 630-TS относятся к первой группе, удельная скорость роста при температуре



культивирования +20° составляет  $\mu = 1,36 \text{ ч}^{-1}$ ,  $\mu = 1,00 \text{ ч}^{-1}$ ,  $\mu = 0,946 \text{ ч}^{-1}$  и время генерации  $g = 0,509 \text{ ч}$ ,  $g = 0,693 \text{ ч}$ ,  $g = 0,766 \text{ ч}$  соответственно. Бактериальный штамм *B. subtilis* 948P1-TS относятся к быстрорастущим, удельная скорость роста и время удвоения, при температуре культивирования +5°, составляет  $\mu = 0,106 \text{ ч}^{-1}$  и  $g = 6,51 \text{ ч}$ .

К группе медленно растущие, относятся штаммы *B. tyonensis* 1257-TS ( $\mu = 0,372 \text{ ч}^{-1}$ ;  $g = 1,862 \text{ ч}$ ) и *B. thuringiensis* 1562-TS ( $\mu = 0,505 \text{ ч}^{-1}$ ;  $g = 1,372 \text{ ч}$ ). При низких температурах скорость роста у штамма *B. megantherium* 312-TS составила  $0,045 \text{ ч}^{-1}$ , а время генерации 15,4 ч.

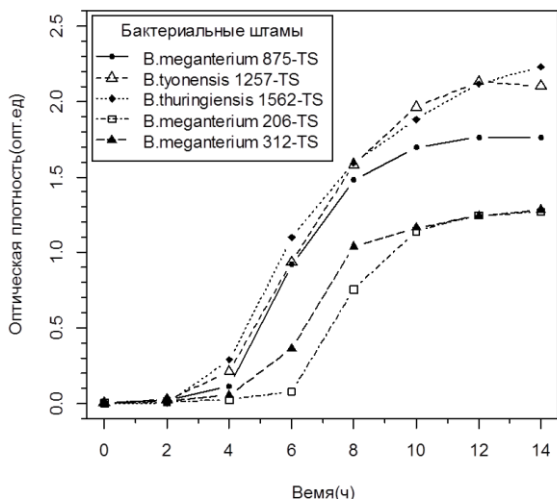


Рис.2 Кинетические кривые роста бактериальных штаммов, при температуре культивирования +20°С (медленно растущие).

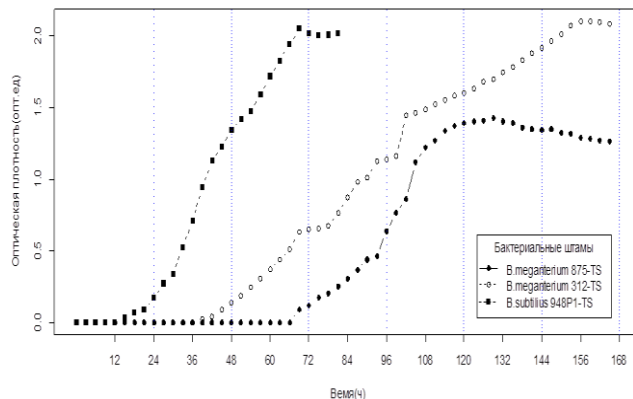


Рис.3 Кинетические кривые роста бактериальных штаммов, при температуре культивирования +5°С.

### Заключение

Результаты проведенного эксперимента показали, что кинетические параметры роста бактериальных культур рода *Bacillus* носят индивидуальный характер даже на уровне штамма.

При низких положительных температурах культивирования, лаг фаза роста бактерий увеличилась, что возможно связано с перестройкой метаболизма клетки. Прирост биомассы при +5°С за 5-7 суток роста, достиг такого же уровня как и при +20°С за 10 ч.

Таким, образом, изучение динамики роста перспективных штаммов, позволило оптимизировать условия максимального выхода биомассы, синтеза вторичных метаболитов и спрогнозировать развитие микроорганизмов в зависимости от изменения температурных параметров окружающей среды, что позволит создать высокоэффективный биопрепарат.

Таблица 1. Кинетические параметры и фазы роста бактериальных штаммов *Bacillus* spp.

Параметр	<i>B. megantherium</i> 875-TS	<i>B. tyonensis</i> 1257-TS	<i>B. thuringiensis</i> 1562-TS	<i>B. megantherium</i> 206-TS	<i>B. megantherium</i> 312-TS	<i>B. thuringiensis</i> 630-TS	<i>B. subtilis</i> 948P1-TS	<i>B. megantherium</i> 629-TS	<i>B. subtilis</i> 948P1-TS
Лаг-фаза	0-2	0-2	0-2	0-4	0-4	0-4	0-4	0-4	0-4
Фаза ускоренного роста	2-4	2-4	2-4	4-6	4-6	-	4-6	-	-
Экспоненциальная фаза	4-8	4-10	4-8	6-10	6-8	4-8	6-8	4-8	4-8
Фаза замедленного роста	8-10	10-12	8-12	10-12	8-10	8-10	8-12	8-10	-
Стационарная фаза	10-14	12-14	12-14	12-14	10-14	10-14	12-14	10-14	8-14
$\mu, \text{ч}^{-1}$	0,641	0,372	0,505	0,682	0,529	0,946	0,915	1,000	1,362
$g, \text{ч}$	1,081	1,862	1,372	1,019	1,310	0,756	0,757	0,693	0,509

## Литература

- Губин С.В., Максимович С.В., Занина О.Г. Анализ состава семян растений из ископаемых нор сусликов лессово-ледовых отложений обнажения Зеленый Мыс, как показатель местных условий обитания // Криосфера Земли, 2001. Т. V, №2 .с.76–82.
- Мелентьев А.И. Аэробные спорообразующие бактерии *Bacillus* Sohn в агроэкосистемах / Ин-т биологии УфимНЦ РАН. – М.: Наука, 2007. – 147с.
- Морозкина Е.В., Слуцкая Э.С., Федорова Т.В. и др. Экстремофильные микроорганизмы: биохимическая адаптация и биотехнологическое применение // Прикладная биохимия и микробиология. – 2010. – Т.46, №1. – С. 5-20.
- Перт С. Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток – М.: Мир,1978. – 116с.
- Advances in Space Research (includes Cospar Information Bulletin). 2004. Т. 33. № 8. С. 1215-1221.
- Kudryashova E.B., Suzina N.E., Ariskina E.V., Chernousova E.Y., Gilichinsky D.A. Microbial diversity of Late Pleistocene Siberian permafrost samples // Microbiology. 2013. Т. 82. № 3. С. 341-351.
- Rivkina E., Gilichinsky D., Laurinavichius K., Shcherbakova V., McGrath J., Tiedje J. Microbial life in permafrost.
- Rosa Margesin, Franz SchinnerJean, Claude Marx, Charles Gerday. Psychrophiles: from Biodiversity to Biotechnology// Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, vol. 462.
- Timmusk S., Nicander B., Granhall U., Tillberg E. Cytokinin production by *Paenibacillus polymyxa* // Soil. Biol. Biochem., 1999. Vol.31. P.847-1852.



## Коррозионная агрессивность грунтов криолитозоны

В.О.Доманский, И.В.Рузов

*ТюмГНГУ Институт криогенных ресурсов*

О.В.Доманская

*Учреждение Российской Академии Наук ТюмНЦ СО РАН*

### Реферат

Коррозионное поведение железа и стали в грунтах напоминает коррозионное воздействие при погружении в воду и атмосферную коррозию. Основная причина отказов на нефтегазопроводах является коррозия. В работе представлены результаты исследования грунтов на коррозионную агрессивность различными лабораторными методами.

**Ключевые слова:** коррозия, грунт, сталь, криолитозона, определение коррозионной агрессивности.

## Corrosion of Metal Constructions in Conditions of Cryolithozone

V.O.Domanskii, I.V.Ruzov,

*TSGU Institute of cryogenic resources, Tyumen*

O.V.Domanskaia

*Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the RAS*

### Abstract

The corrosion behavior of iron and steel in soils reminds aqueous and atmospheric corrosion. The main reason for failure in the oil and gas pipelines is corrosion. In the paper it was 3 methods.

**Key Words:** corrosion, soil, steel, cryolithozone, the determination of the corrosiveness.

### Введение

Актуальной проблемой транспорта углеводородов остается безаварийная эксплуатация магистральных и внутрепромысловых нефтепроводов и газопроводов в условиях криолитозоны. Для сооружения нефтегазопроводов, как основной конструкционный материал, используют сталь, обладающую хорошими прочностными свойствами, но низкой коррозионной стойкостью в условиях подземных сооружений.

Вследствие механических воздействий, дефектов и продолжительного срока эксплуатации труб изоляционное покрытие стареет и перестает выполнять защитные функции, и коррозионное состояние нефтегазопроводов ухудшается. По данным доклада, об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, в 2013 году на территории округа было зафиксировано 2 794 аварийных разлива, из них на нефтепроводах произошло 1 285 инцидента, а на водоводах – 1 509 аварийных отказов. В результате разгерметизации трубопроводов в окружающую среду попало около 300,4 т. загрязняющих веществ. Основной причиной аварийных отказов трубопроводов является коррозия – 2 684 случая или 96%. За последние пятнадцать лет внутренняя и внешняя коррозия остается единственной причиной аварий на нефтепроводах и водоводах.

Коррозионное поведение железа и стали в грунтах в некоторых отношениях напоминает коррозионное

воздействие при погружении в воду и в то же время, напоминает атмосферную коррозию, причем скорость коррозии в грунтах обычно выше и сильно различается в зависимости от типа грунта (минеральный состав, pH, влажности и т.д.). Почвы и грунты представляют собой сложную природную среду, особенности которой надо учитывать при рассмотрении протекающих в ней коррозионных процессов. Агрессивность грунта определяется: 1) его пористостью (аэрацией), 2) электропроводимостью или сопротивлением, 3) наличием растворимых солей, 4) влажностью, 5) кислотностью или щелочностью [Улиг Реву 1985].

Дополнительно на коррозионную агрессивность грунтов оказывает влияние рельеф, климатические условия, микробиологический состав, наличие блуждающих токов.

Многофакторность коррозионных процессов является одной из причин неравномерности и высокой избирательности развития коррозионных повреждений на поверхности трубопроводов. Случайность проявления многих факторов и неопределенность результатов их взаимодействия приводят к стохастичности распределения коррозионных дефектов на поверхности трубопровода. Поэтому, практически на любом коррозионном участке встречаются дефекты с различной глубиной коррозионных поражений.

Обязательным исследованием при инженерно-геологических изысканиях в криолитозоне является оценка коррозионной агрессивности грунтов по



отношению к стали. Критерии оценки коррозионной активности грунтов утверждены стандартами и руководствами в 50-х годах прошлого столетия и до наших дней остались без изменений. Они не распространяются на вечномёрзлые грунты, но принятые в ГОСТе критерии могут быть использованы и для мерзлых грунтов с некоторыми уточнениями [Зыков Червинская 2009]. Ранее считалось, что многолетнемерзлые грунты – коррозионно неактивны из-за высокого удельного электрического сопротивления, что способствовало дефициту информации по коррозионным процессам в мерзлых грунтах и отсутствию данных. Работами ученых последних лет доказано, что коррозионные процессы протекают и в условиях криолитозоны [Шавлов Рябцева 2007; Курчатова Рогов 2013].

Цель работы – сравнение и оценка коррозионной агрессивности грунтов криолитозоны по потере массы стального образца, в талом и мерзлом состоянии, после циклического промораживания-протаивания и гостированным методом на основе измерения двух параметров: удельного электрического сопротивления  $\rho$  и плотности катодного тока  $j_k$  (ГОСТ 9.602-2005 «Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования и защита от коррозии»).

### Материалы и методы исследования

Для определения коррозионной агрессивности грунтов были выбраны два типа грунта, определены их физико-химические свойства – гранулометрический состав (ситовым и ареометрическим методом), степень засоленности (кондуктометрическим методом) и содержание агрессивных ионов в водной вытяжке грунта (табл.1).

Таблица 1. Гранулометрический состав грунта

№ образца	Содержание фракций, %										
	диаметр, мм										
	>10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005
1 -песок	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	23,24	62,49	13,79	0,00	0,00	0,00
2- суглинок	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,20	13,22	44,08	13,44	29,03

Для оценки коррозионной активности грунтов использовали результаты измерения удельного электрического сопротивления и плотности тока катодной защиты углеродистой и низколегированной стали. Измерения проводили на анализаторе АКАГ в соответствии с ГОСТ 9.602-2005 (рис.1).



Рис 1. Анализатор коррозионной активности грунта АКАГ

В лабораторном эксперименте были использованы стальные трубки, изготовленные из водогазопроводных труб проточенную снаружи и внутри. Длина трубки 100

мм диаметр 22 мм. Перед испытанием поверхность трубки очищалась от ржавчины корундовой шкуркой, обезжиривалась ацетоном, высушивалась фильтровальной бумагой и выдерживалась в течение суток в эксикаторе с кристаллическим хлористым кальцием. После взвешивалась на весах с погрешностью  $\pm 0,01$  г.

Для определения коррозионной активности грунтов по потере массы были собраны две установки (рис. 2). Каждая установка состояла жестяную банку высотой 110 мм и внутренним диаметром 85 мм (1), образец (2), источник постоянного тока (3) и вольтметр (4) (действующий ранее ГОСТ 9.015-74, рис.2).

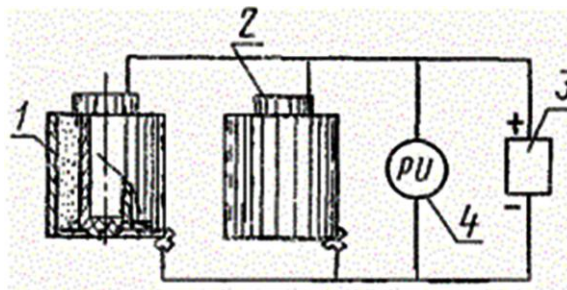


Рис. 2. Установка для определения коррозионной активности грунта

Стальной образец устанавливали в жестяную банку и изолировали от дна пробкой, так чтобы расстояние между трубкой и банкой было равно 10 -15 мм. Банку



заполняли испытываемым грунтом на 5-7 мм ниже конца трубки. Предварительно грунт высушивался при температуре 105°C и просеивали через сито с размером ячейки 1 мм. После утряски, грунт увлажняли дистиллированной водой до появления на его поверхности, не поглощаемой влаги. К трубке подключали положительный полюс, а ко дну банки – отрицательный. Трубки находились под током в течение 24 ч, при напряжении в 6 В. Эксперимент проводился при трех температурных режимах: +23°C, -17°C и с циклом замораживания до -17°C с последующим оттаиванием при +23°C.

После отключения тока трубку извлекали из установки, очищали от грунта и продуктов коррозии и подвергали катодному травлению в 8%-ном растворе гидрата окиси натрия при плотности тока 5 А в течение 15 минут (рис.3). После образец промывали дистиллированной водой, высушивали и взвешивали на весах.

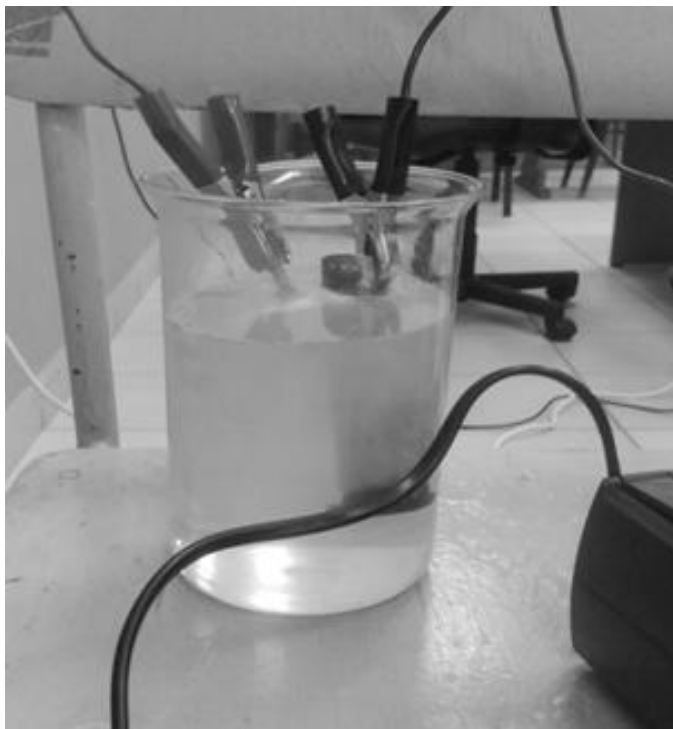


Рис. 3. Катодное травление образца

По результатам гранулометрического анализа грунты классифицировали согласно ГОСТ 25-100 и классификации В.В. Охотина. На основании результатов грунты были определены как песок средней крупности и пылеватый тяжелый суглинок. По степени засоленности грунты относятся к слабозасоленным. Определение типа засоления по результатам анализа водной вытяжки в изучаемых образцах грунтов, показывает, что по содержанию анионов преобладает карбонатный и сульфатно-хлоридный тип (табл. 2).

Таблица 2 Данные анализа водной вытяжки

№	рН	В мг на 1000 г абсолютно сухого грунта					
		$HCO_3^-$	$Cl^-$	$SO_4^{2-}$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$\Sigma(K + Na)^+$
1	6,78	244	107	115	90	24	67
2	6,25	305	71	192	160	24	23

В зависимости от типа грунта и значения рН, степень коррозионной активности для песка – слабая, а для суглинка – средняя. По результатам водной вытяжки и значению рН суглинок имеет повышенную степень коррозионной активности. В таблице 3 представлены результаты определения у образцов удельного электрического сопротивления  $\rho$  и плотности катодного тока  $j_k$ .

Таблица 3 УЭС и плотность катодного тока

№	Тип грунта	УЭС (Ом*м)	Плотность катодного тока (мА/м <sup>2</sup> )	Коррозионная агрессивность грунта
1	песок	200	0,06	низкая / средняя
2	суглинок	27,0	0,23	средняя/высокая

Перечисленные выше лабораторные методы не дали однозначного ответа на вопрос классификации степени коррозионной агрессивности грунтов и не учитывали воздействие внешней среды, а именно температурного фактора на коррозионные процессы. Результаты определения коррозионной агрессивности грунтов по потере массы при трех температурных режимах приведены в таблице 4.

Таблица 4 . Потеря массы стального образца

№	Тип грунта	T (-17°C)	T (+23°C)	T= +23°C /- 17°C
		Потеря массы образца (г)		
1	песок	0,09 (низкая)	0,21 (низкая)	0,40 (низкая)
2	суглинок	0,55 (низкая)	1,46 (средняя)	2,32 (высокая)

После каждого опыта визуально наблюдались продукты коррозионного воздействия и изменения отражательной способности металла. На поверхности трубок, помещенных в песок, наблюдались точечные разрушения металла, основная часть которых концентрировалась в верхней половине испытываемого образца. Трубки, помещенные в суглинок, имели равномерное распределение повреждений по всей поверхности.

## Заклучение

В результате применения метода определения коррозионной агрессивности по потере массы стального образца было выявлено, что коррозионная агрессивность после циклического промерзания-протаивания в 1,5-2

раза больше по сравнению с тальми и мерзлыми грунтами, что подтвердило результаты ранее проведенных исследований.

Объединение методов определения коррозионной активности грунтов и лабораторное моделирование условий эксплуатации, способствует постановке правильной оценки коррозионной активности грунтов, что дает возможность точнее определить срок службы металлических конструкций, разработать эффективные методы защиты, учесть особенности климата и подобрать оптимальные инженерные решения в строительстве подземных сооружений.

## Литература

- Улиг. Г.Г., Ревя П.У. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику: Пер. с англ./ Под. Ред. А.М. Сухотина.- Л.: Химия, 1989. – Пер. изд. США, 1985. – 456 с.
- Шавлов А.В., Рябцева А.А. Механизм ускорения коррозии металлов во льду при структурных превращениях и кристаллизации воды. Журнал физической химии. 2007, т.81, №7, с.1035-1040.
- Зыков Ю.Д., Червинская О.П. К вопросу об оценке коррозионной агрессивности грунтов. Инженерные изыскания, 2009, № 4, с. 56-59.
- Курчатова А.Н., Рогов В.В. Влияние промерзания и протаивания на интенсивность коррозии. Геотехника, 2013, №5-6, с.74-84.



## Строение и устойчивость дисперсного льда, стабилизированного гидрофобными наночастицами

А.О.Драчук, Н.С.Молокитина, Л.С.Поденко  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

В работе демонстрируются результаты исследований строения и устойчивости дисперсного льда, стабилизированного гидрофобными наночастицами. Дисперсный лед был получен двумя способами 1) замораживанием “сухой воды” либо 2) измельчением льда в присутствии гидрофобных наночастиц при отрицательной температуре. Показано, что замороженная “сухая вода” с содержанием стабилизатора менее 5 мас. % представляет собой преимущественно сплошное пористое ледяное тело. Установлено, что гидрофобные наночастицы инициируют нуклеацию льда в “сухой воде”.

**Ключевые слова:** “сухая вода”; дисперсный лед; ЯМР; нуклеация льда; переохлажденная вода; гидрофобные наночастицы

## Structure and Stability of Dispersed Ice Stabilized With Hydrophobic Nanoparticles

A.O.Drachuk, N.S.Molokitina, L.S.Podenko  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

The results of research of the dispersed ice structure and stability which was stabilized with hydrophobic nanoparticles are presented at this work. Dispersed ice was prepared in two ways: 1) freezing of "dry water" system or 2) disintegration of ice with hydrophobic nanoparticles. It was shown that frozen "dry water" up to 5wt% of Aerosil was mainly made as continuous solid porous body. It was determined that hydrophobic nanoparticles instigated the ice nucleation in the "dry water" system.

**Key Words:** “dry water”; dispersed ice; NMR; ice nucleation; metastable water; hydrophobic nanoparticles

### Введение

Использование искусственного дисперсного льда в качестве теплового экрана для предотвращения промерзания грунта при строительстве дорог, разработке россыпных месторождений полезных ископаемых позволяет снижать затраты на дорожное строительство и разработку месторождений в условиях крайнего Севера [Сморыгин 1988]. Однако в условиях даже коротковременного межсезонного потепления эти материалы быстро разрушаются в результате таяния льда. В этой связи необходим поиск новых материалов, на основе водных дисперсий, устойчивых к замерзанию/оттаиванию и, как следствие, актуальным является изучение свойств таких материалов.

В настоящее время активно разрабатываются технологии транспортирования, хранения и утилизации природных и попутных нефтяных газов в форме газовых гидратов [Rehder et al. 2012, Falenty et al. 2014].

Для получения и хранения газовых гидратов требуются относительно низкие температуры и повышенное давление. Понижение температуры позволяет снизить необходимое давление гидратообразования. Таким образом, применение гидратных технологий представляется наиболее перспективным, прежде всего, в условиях низких окружающих температур, например в Арктике.

Развитие газогидратных технологий на современном этапе тормозится отсутствием эффективных способов получения газовых гидратов, обеспечивающих высокую скорость и степень превращения воды в гидрат.

Недавние исследования показали, что решение проблемы возможно, если для получения гидратов использовать микродисперсию “сухая вода” [Cooper et al. 2009] – микрокапли воды (до 98 мас.%) в среде гидратообразующего газа, слиянию которых препятствует добавка наночастиц гидрофобизированного кремнезема.

Гидраты природных газов в криолитозоне могут сохраняться вне зоны их термодинамической стабильности [Поденко и др. 2014]. Важной экологической проблемой является низкая устойчивость реликтовых гидратов – гидратов природных газов, сохранившихся вне зоны их термодинамической стабильности в мерзлоте. Разложение реликтовых гидратов приведет к выделению большого количества парникового газа (метана) и может сопровождаться крупными авариями. Природа устойчивости гидратов вне зоны их термодинамической стабильности при температуре ниже 273 К до конца не понята.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся дисперсный лед, который получали двумя способами: замораживанием

“сухой воды”; 2) измельчением льда в присутствии гидрофобных наночастиц.

Для приготовления дисперсных систем использовали дистиллированную воду и гидрофобизированный пирогенный диоксид кремния производителя Evonik Industries марки Aerosil® R202 (далее гидрофобный аэросил). Массовая доля гидрофобного аэросила в образцах варьировалась от 3 до 15 мас. %. “Сухую воду” (рис. 1) получали по методике, которую ранее применяли в работах [Formy et al. 2009, Binks Murakami 2006, Поденко и др. 2010]. Образцы “сухой воды” готовились с помощью диспергатора Braun MX2050. Для этого в емкость для перемешивания диспергатора заливалась вода, засыпался порошок гидрофобного аэросила, и эта смесь перемешивалась при скорости вращения вала двигателя 18750 об/мин в течение 60 с. Измельчение льда осуществлялось в емкости диспергатора марки mata J26 в присутствии гидрофобного аэросила в холодильной камере “Теледор” при температуре 253 К в течение 60 с.



Рис. 1. “Сухая вода”

Для изучения строения, образования и устойчивости дисперсного льда, стабилизированного гидрофобным аэросилом, были привлечены дифференциальный термический анализ (ДТА), оптическая микроскопия, ядерный магнитный резонанс (ЯМР).

Схема установки, используемой для замораживания водных дисперсий и изучения температурных условий образования и плавления льда, приведена на рис.2. Основными её элементами являются металлическая (6) и стеклянная (7) ячейки, помещенные в программируемый термостат (1) и компьютерная система (цифровой преобразователь сигнала (ЦПС) (4) и компьютер (5)) сбора и обработки показаний датчиков температуры (3), расположенных внутри и снаружи (вблизи внешней поверхности) ячеек.

ЯМР-релаксационные измерения выполнены на импульсном релаксметре Bruker Minispec MQ с резонансной частотой 20 МГц. Метод ЯМР позволял проводить бесконтактные измерения размеров частиц в образцах водных дисперсий согласно методике, описанной в работе [Поденко и др. 2010].

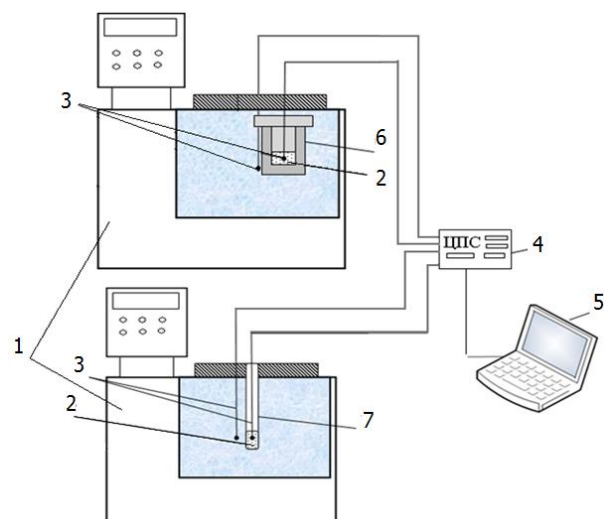


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для проведения исследований заморзания/оттаивания водных дисперсий: термостат – 1, исследуемый образец – 2, термодатчики – 3, цифровой преобразователь сигнала – 4, компьютер – 5, металлический реактор – 6, стеклянный реактор – 7

## Результаты и обсуждение

Заморзание водных микрокапельных систем может происходить при температурах на десятки градусов ниже температуры плавления льда. В этой связи нами определены температурные условия образования и плавления льда в “сухой воде” с использованием методов ЯМР и ДТА. Выбор данного метода обусловлен тем, что ЯМР-релаксационные измерения позволяют определять фазовый состав воды в дисперсиях и при этом получать информацию об их микроструктуре [Манк Лебовка 1988, Дербиш 1985]. С помощью ЯМР определено изменение содержания незамерзшей воды (жидкой воды) в дисперсии “сухая вода” с содержанием аэросила 5 мас. % при её охлаждении от 278,0 К до 253,0°К и затем нагреве до 278,0°К с постоянной скоростью.

По данным ЯМР измерений (рис. 3) вода в дисперсии “сухая вода” начала замерзать при охлаждении до 265,5 К. При температуре 253,0 К содержание жидкой воды достигло нулевой отметки, практически вся вода перешла в лед. При нагревании до 273,2 К наблюдали первые признаки появления жидкой воды, свидетельствующие о начале плавления льда. Таким образом, жидкая вода в дисперсии при отрицательных температурах находилась в неравновесном переохлажденном состоянии.

Следует отметить качественно иной характер заморзания воды в дисперсии “сухая вода” по сравнению с обычной водой. При охлаждении дистиллированной воды наблюдается резкое снижение содержания жидкой воды на начальной стадии ее кристаллизации (рис. 3, прерывистая линия). Появление жизнеспособного зародыша льда в объемной воде приводит к дендритной кристаллизации льда по всему объему воды [Голубев 1976]. Для “сухой воды” характерна низкая начальная скорость заморзания воды. Это свидетельствует о том, что процесс образования льда после появления



жизнеспособного зародыша затрагивает лишь отдельные капли воды.

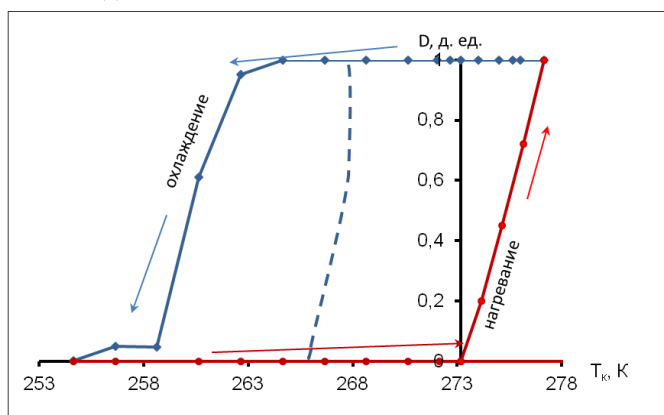


Рис. 3. Изменение доли жидкой воды (по отношению к суммарному ее содержанию) при охлаждении, нагревании образца “сухой воды” (сплошная линия), образца объемной воды (прерывистая линия). Содержание аэросила в “сухой воде” 5 мас. %. Скорость изменения температуры 0,2 К/мин. Содержание воды 0,25 г.

Для изучения характера влияния аэросила на степень переохлаждения воды в дисперсии “сухая вода” нами получены термограммы охлаждения и нагрева “сухой воды” - изменение отклонения температуры образца ( $T_o$ ) от температуры в криостате ( $T_k$ )  $\Delta T_q = T_o - T_k$ , в зависимости от температуры в криостате.

Таблица 1. Степень переохлаждения воды (0,25 г) в дисперсии “сухая вода” при её охлаждении со скоростью 0,5 К/мин в стеклянном реакторе

Содержание аэросила, мас. %	Среднее значение пороговой температуры заморзания воды, °К	Среднее значение переохлаждения, °К
5	264	9±1
10	267	6±1
15	267	6±1
0*	238	34±2

\* Эмульсия вода в масле (ПЭС 5)

Средний размер микрокапель дисперсной фазы “сухой воды” изменялся от 4 до 12 мкм в зависимости от содержания аэросила. Величина переохлаждения воды в каплях размером порядка 10 мкм, не контактирующих с твёрдыми частицами превышает 30 К [Скрипов 1972].

Факт значительного уменьшения степени переохлаждения воды, контактирующей с гидрофобным аэросилом, по сравнению с водой, не контактирующей с твёрдыми частицами, свидетельствует о том, что гидрофобный аэросил инициировал нуклеацию льда в “сухой воде”.

Исходная “сухая вода” является сыпучей дисперсной системой. Известно, что замораживание влажных

дисперсных систем часто приводит к потере их сыпучести и изменению плотности в результате смерзания частиц их дисперсной фазы. Это в сильной степени меняет свойства и поведение дисперсий. В частности, уменьшение плотности дисперсии льда приводит к росту её теплопроводности и, как следствие, снижается эффективность использования дисперсии льда для теплоизоляции грунтов.

Мы определили плотность замороженной “сухой воды” с содержанием аэросила 3, 5, 10 и 15 мас. %. Для этого образцы “сухой воды” массой 7 г. помещались в стеклянную ёмкость и охлаждались до 253,0 К. Наблюдение за уровнем засыпки “сухой воды” показали, что замораживание “сухой воды” не приводило к заметному изменению объема дисперсии. Это свидетельствовало о равенстве плотностей исходной и замороженной “сухой воды”. Плотность замороженной “сухой воды”, определённая взвешиванием, изменялась в пределах от 0,2 до 0,7 г/см<sup>3</sup> в зависимости от содержания аэросила (табл. 2).

Таблица 2. Плотность замороженной “сухой воды”

Содержание гидрофобного аэросила, мас. %	Плотность, г/см <sup>3</sup>
3	0,6±0,07
5	0,5±0,05
10	0,3±0,01
15	0,2±0,005

Замороженная “сухая вода”, с содержанием гидрофобного аэросила 3 и 5 мас. %, после её извлечения из стеклянной емкости представляла собой твердую на ощупь массу и небольшое количество белого порошка. Образцы с содержанием гидрофобного аэросила 10 и 15 мас. % рассыпались на отдельные куски при попытке взять замороженную “сухую воду” в руку. Таким образом, замороженная “сухая вода” представляет собой сыпучий порошок и (или) твердую массу.

Ситовым анализом мы определили массовую долю сыпучего порошка, входящего в состав замороженной “сухой воды”, с размером частиц менее 0,005 м. В составе замороженной “сухой воды” с содержанием гидрофобного аэросила 3 и 5 мас. % массовая доля сыпучего порошка с размером частиц менее 0,005 м составляла 0,06 и 0,2 соответственно. Твердая масса замороженной “сухой воды” с содержанием гидрофобного аэросила 3 и 5 мас. % состояла из льда на 97 и 95 мас. % соответственно и имела пористую структуру как на рис. 4б с пористостью 35±5% и 50±5% соответственно.

“Сухая вода”, с содержанием аэросила 15 мас. % состояла полностью из сыпучего порошка с частицами размером меньше 0,005 м. В случае “сухой воды” с содержанием аэросила 10 мас. % массовая доля порошка с частицами размером меньше 0,005 м составила 0,94. При этом размер частиц льда дисперсной фазы замороженной “сухой воды” (рис. 5б) существенно превосходил размер капель воды в исходной “сухой воде” (рис. 5а). Это

свидетельствовало о формировании значительно более крупных, по сравнению с исходными водными частицами, частиц льда в результате заморозания "сухой воды".

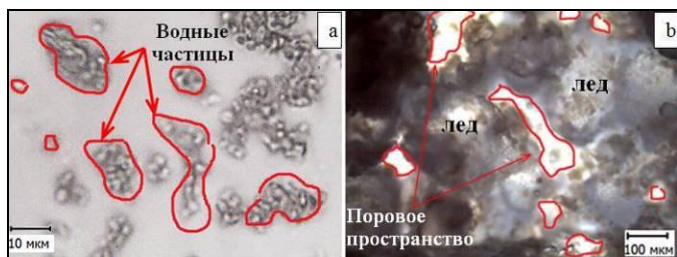


Рис. 4. Исходная (а) и замороженная (твердая масса) (б) "сухая вода" с содержанием гидрофобного аэросила 3 мас. %

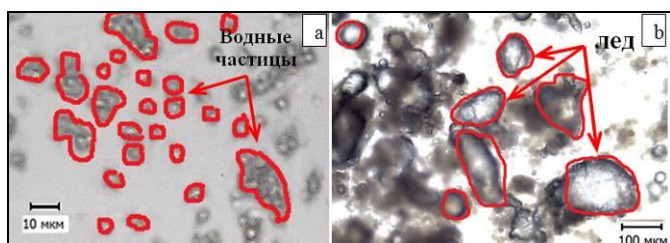


Рис. 5. Водные частицы в исходной (а) и частицы льда в замороженной (б) "сухой воде" с содержанием гидрофобного аэросила 10 мас. %

Для изучения устойчивости "сухой воды" к циклам заморозания/оттаивания мы провели эксперименты по многократному заморозанию/оттаиванию "сухой воды".

Цикл заморозания/оттаивания включал замораживание образца "сухой воды" со скоростью 0,5 К/мин до температуры 253,0 К в программируемом криостате, выдерживание образца при температуре 253,0°К в течение 24 часов, и затем оттаивание при комнатной температуре 298,0°К в течение 24 часов.

Два цикла заморозания/оттаивания "сухой воды" с содержанием аэросила 3 и 5 мас. % привели к заметному расслоению "сухой воды" на жидкую воду и дисперсию воды, стабилизированную гидрофобным аэросилом. "Сухая вода" с содержанием аэросила 10 мас. % не расслоилась. При этом средний размер водных частиц дисперсной фазы "сухой воды" увеличился почти в два раза. Это свидетельствовало об объединении отдельных водных микрочастиц дисперсной фазы "сухой воды".

### Основные выводы

Установлено, что замороженная "сухая вода" с содержанием гидрофобного аэросила не более 5 мас. %, представляет собой преимущественно сплошное пористое ледяное тело.

Показано, что гидрофобный аэросил инициирует нуклеацию льда в "сухой воде".

Показано, что "сухая вода" с содержанием стабилизатора 3 и 5 мас. % расслаивалась после проведения одного цикла заморозания/оттаивания, но сохраняла устойчивость после двух циклов

заморозания/оттаивания при содержании стабилизатора 10 мас. %.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ и по государственной поддержке ведущих научных школ РФ (грант НШ\_3929.2014.5), а также Президиума РАН (программа фундаментальных исследований "Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации") и СО РАН (программа междисциплинарных исследований, проект № 144).

### Литература

- Голубев В.Н. Условия образования льда в природе и равновесная форма совершенных кристаллов льда// Вопросы криологии Земли. – М.: Наука.- 1976.- С. 203–210.
- Дербиш В. Динамика воды в гетерогенных системах: Особенности при температурах ниже 0°С // Вода и водные растворы при температурах ниже 0°С / Под ред. Ф. Франка. – Киев, 1985. С. 277-345.
- Манк В.В., Лебовка Н.И. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса воды в гетерогенных системах. Киев: Наукова думка.- 1988.- С. 204.
- Поденко Л. С., Нестеров А. Н., Комиссарова Н. С. (Молокитина Н.С.), Шаламов В. В., Решетников А. М., Ларионов Э. Г. Протонная магнитная релаксация в дисперсной наносистеме «сухая вода» // Журнал прикладной спектроскопии, 2011.- Том 78.- №2. - С. 282-287.
- Поденко Л.С., Комиссарова (Молокитина) Н.С., Шаламов В.В., Кислицын А.А. Заморозание воды в дисперсии гидрофобного кремнезема по данным протонной магнитной релаксационной спектроскопии // Вестник ТюмГУ, 2010.- №6. - С. 4-11.
- Поденко Л.С., Нестеров А.Н., Драчук А.О., Молокитина Н.С., Решетников А.М. Механизмы диссоциации при отрицательных температурах газовых гидратов, полученных из "сухой воды" // Журнал физ. химии, 2014.- Т. 88. - № 7-8.- С.1257-1263.
- Скрипов В.П. Метастабильная жидкость. – Наука. Гл. редакция физ.- мат. Литературы, 1972.- 313 с.
- Сморыгин Г.И. Теория и методы получения искусственного льда – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1988.- С.282.
- Binks B.P., Murakami R. Phase inversion of particle-stabilized materials from foams to dry water// Nature materials, 2006.- V. 5.- P. 865-869.
- Cooper A., Adams D., Bray C., Wang W. Clathrates gas storage. Inventors: United States Patent No 0185623. Filed 2009. Cl. C10L1/32. Appl. No 13/055915. Filed 2008.
- Falenty A., Kuhs W.F., Glockzin M., Rehder G. // ENERGY & FUELS, 2014.- V. 28.- P. 6275-6283.
- Forny L., Pezron I., Saleh K., Guidon P., Komunjer L. Influence of mixing characteristics for water encapsulation by self-assembling hydrophobic silica nanoparticles// Powder technology, 2009.- V. 189.- P. 263-269.
- Rehder G., Eckl R., Elfgen M., Falenty A., Hamann R., Kähler N., Kuhs W.F., Osterkamp H., Windmeier C. // Energies, 2012.- V. 5.- P. 2499-2523.



## Нефтегазовое освоение Арктических территорий и экологические вопросы недропользования

Д.С.Дроздов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

В.А.Дубровин

*ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии ВСЕГИНГЕО, Моск. обл.*

### Реферат

Специфика криолитозоны – наличие многолетнемерзлых горных пород (ММП) – определяет сущность проблем природопользования и экологии в Арктике. Связанные с мерзлотой разрушительные геокриологические процессы многократно усиливаются при техногенном вмешательстве. Активная экспансия нефтегазовой добычи на север и далее на шельф требует разработки и реализации системы геологического обеспечения осваиваемых районов арктической и субарктической криолитозоны, основанная на принципах создания государственных геокриологических полигонов, как особо охраняемых территорий. Это повысит ответственность недропользователей и роль государства и субъектов федерации в укреплении экологической безопасности в Арктике и Субарктике.

**Ключевые слова:** природные и техногенные геосистемы Арктики, криолитозона, процессы, экологическая безопасность, государственные геокриологические полигоны

## Arctic Oil and Gas Exploration and Environmental Aspects of the Mining Industry Development in Arctic

D.S.Drozhdov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

V.A.Dubrovin

*All-Russia Scientific and Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), Moscow, Russia*

### Abstract

Specificity of the permafrost zone – the presence of the permanent frozen ground – cause a lot of environmental problems for mining industry in Arctic. Destructive geocryological processes magnified at technogenic interference. The active expansion of oil and gas industry in the north and then to the shelf requires the development and implementation of geo-environmental serves for the Arctic and sub-Arctic cryolithozone, based on the principles of the creation monitoring of the state of geocryological polygons as specific protected areas.

**Key Words:** natural and technogenic geosystems of the Arctic, permafrost zone, geocryological processes, environmental safety, state geocryological polygons.

### Введение

Криолитозона занимает примерно 2/3 территории России и характеризуется суровым климатом, недостатком современных транспортных коммуникаций, низкой плотностью населения, сильной зависимостью экологической обстановки от природных катаклизмов и техногенеза, наличием большого числа обширных заповедных и особо охраняемых территорий. Большинство территорий – это области традиционного хозяйствования народов Севера. В то же время Российская Арктика и Субарктика, которые приблизительно совмещаются с зоной вечной мерзлоты, дают 11% национального продукта России, обеспечивая

22% в общего объёма экспорта производства более 90% никеля, кобальта и платиновых металлов, добычи приблизительно 80% газа и 60% нефти. Прогнозные ресурсы по этим видам сырья превышают 70-90% российских. Всё это, делая Арктику ключевым экономическим регионом Российской Федерации, особо ставит задачу выбора экологически и социально безопасных путей хозяйствования в ресурсной сфере.

Специфика криолитозоны – наличие многолетнемерзлых горных пород (ММП) – определяет сущность проблем природопользования и экологии в Арктике. Задачи освоения, с одной стороны, и исключительная роль мерзлоты в формировании экологической обстановки севера, с другой – делают

проблему комплексного изучения и прогнозирования состояния криолитозоны одной из приоритетных [Павлов Дубровин 2000]. Фактически темпы экономического освоения криолитозоны намного опережают геокриологические и геоэкологические исследования по обоснованию безопасного и рационального недропользования, а соответствующая стратегия регионального изучения и мониторинга криолитозоны с учётом текущего и ожидаемого экологического ущерба и рисков от глобальных климатических флуктуаций и техногенеза до сих пор не разработана [Дубровин Крицук 2014]. В результате просчёты даже самых проработанных проектов оказываются видны даже неспециалисту (рис.1).



Рис.1. Формирование протяжённого техногенного термокарстового озера в результате подтопления территории обваловкой подземного трубопровода. На переднем плане стойка измерительного блока системы ведомственного технологического геокриологического мониторинга

Не смотря на то, что фиксируются существенные изменения в окружающей среде, произошедшие за 40 лет освоения нефти и газа в Западной Сибири, до сих пор нет комплексной геоэкологической оценки произошедшего и нет обоснованных прогнозов, в том числе на развитие экзогенных и эндогенных геологических процессов, спровоцированных изъятием из недр и закачкой в недра гигантских объемов флюидов, попаданием нефти, химреагентов и рассолов на поверхности земли и в водоносные горизонты.

### Система мониторинга криолитозоны

Риск природопользования в арктических регионах определяется совместным влиянием двух мощнейших факторов: 1) техногенеза и 2) глобальных флуктуаций климата. Основной путь решения этих задач лежит через **создание системы мониторинга криолитозоны**, включающей в себя как фоновые наблюдения, так и наблюдения на объектах техногенеза. Эта система должна для любого участка с необходимой для практики точность и надёжностью можно было дать текущие и прогнозные геокриологические и геоэкологические

параметры. Задача с приемлемыми объёмами затрат может быть решена только на основе геосистемного подхода, поскольку используя типизацию природных и техногенных геосистем криолитозоны можно типизировать варианты направленности развития экологических обстановок, их состояние и динамику [Дроздов 2004, Дубровин 2011].

Состояние и динамика природных и техногенных геосистем криолитозоны определяются взаимодействием геологической среды с внешними по отношению к ней сферами Земли – атмосферой, гидросферой, биосферой, а также с техническими системами. Для оценки состояния этих взаимодействий создаются системы картографических и информационных моделей. Достоверность карт зависит от обеспеченности фактическим материалом, а задачам экстраполяции информации может служить некоторая пространственная картографическая модель. Включенная в систему мониторинга природной среды картографическая модель обязана для любой точки территории с заданной точностью и надёжностью давать информацию о фоновых и текущих природных и техногенных условиях, а также быть основой для прогноза изменений геокриологических параметров геосистем [Дроздов 2004].

Обеспечение экологической безопасности разработки и освоения недр криолитозоны Арктики требует пересмотра или решения ряда новых крупных научно-методических и организационно-технических задач, касающихся принципов комплексирования и взаимоувязки региональных (площадных) и стационарных (мониторинговых) методов исследования; размещения и структуры наблюдательных сетей; унификации наблюдений на основе применения современных автоматизированных и дистанционных технологий сбора данных; многофакторного моделирования процессов для определения степени риска освоения территории; разработки правовых основ для оценки геоэкологического ущерба на осваиваемых территориях и акваториях.

Отсутствие полноценных геокриологических исследований и опережающих полупромышленных экспериментов в период предпроектной подготовки, предопределяет крайне низкую эффективность принимаемых проектных решений. Так в основополагающем программном документе в «Программе комплексного освоения месторождений углеводородного сырья Ямало-Ненецкого автономного округа и Севера Красноярского края», а также и в других документах, полностью отсутствуют разделы гидрогеологического изучения территории [Дубровин Крицук 2014]. В современных условиях, когда получение новой геокриологической информации происходит в крайне ограниченном количестве, возрастает потребность к поиску и максимальному использованию всех ранее накопленных данных. Это обеспечивается ведением баз геокриологических данных и использованием ГИС-технологий при работе с ними [Дроздов и др. 2007].

Ориентируясь на пространственный охват можно говорить о базах геокриологических данных,



соответствующих ГИС и картографических моделях глобального, регионального, локального и элементарного (пообъектного) уровней.

Задачи районирования и мониторинга природных и техногенных изменений могут быть решены в рамках ФЦП по реализации «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» в виде специальной **Государственной программы «КРИОЛИТОЗОНА РОССИИ»**. Этот документ должен определять концептуальный подход и стратегию

комплексного регионального и мониторингового геоэкологического (гидрогеологического, инженерно-геологического, геокриологического) изучения криолитозоны на территории ближайшей и среднесрочной перспективы освоения месторождений полезных ископаемых, а также включать необходимые объемы и этапы проведения опережающих региональных и мониторинговых работ во вновь осваиваемых и недостаточно изученных регионах криолитозоны, включая шельф арктических морей (рис.2) [Дубровин 2011, Павлов Дубровин 2000].

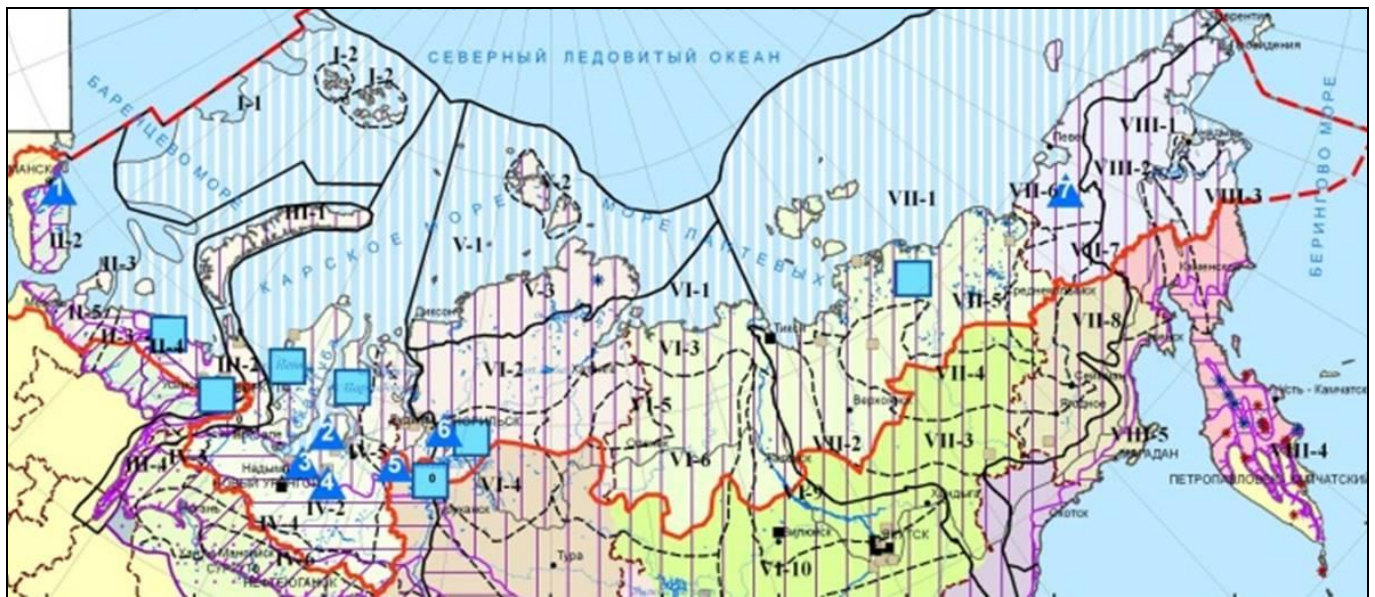


Рис.2. Зонирование криолитозоны России и Арктической зоны России (красная граница) с выделением геолого-структурных регионов и вынесением предполагаемых геокриологических полигонов (голубые квадраты) и стационаров (синие треугольники) с привязкой к субъектам Федерации

Полигоны режимных наблюдений должны представлять собой наивысшую форму в иерархии мониторинговой сети и, по сути дела, являться объектами обобщения данных о режиме геокриологических и гидрогеологических условий, полученных на стационарах и других объектах наблюдений. В настоящее время из нескольких десятков ранее действовавших геокриологических стационаров различных ведомств на территории страны сохранилось около 10 стационаров.

Не смотря на малое число стационары фонового мониторинга позволяют сравнить особенности широтной и секторальной изменчивости геокриологических условий, а также закономерности временной их изменчивости за последние десятилетия. Стационары Болванский (Европейский Север) и Уренгойский (север Западной Сибири) имеют сходные геологические, геоморфологические и ландшафтные условия. Из климатических факторов, влияющих на формирование температурного режима и глубину сезонного протаивания ММП, на обоих стационарах сходны среднелетние температуры воздуха и условия снегонакопления. Но среднегодовая температура воздуха на севере Западной Сибири оказывается ниже почти на 4°С, чем на Европейском Севере, что достигается за счет

более суровых условий в зимний период. Соответственно, значительно ниже и температуры мёрзлых грунтов [Дроздов и др. 2012]. Это очень хорошо заметно в том числе на фоне общего повышения температуры многолетнемерзлых пород за последние 40 лет (рис.3).

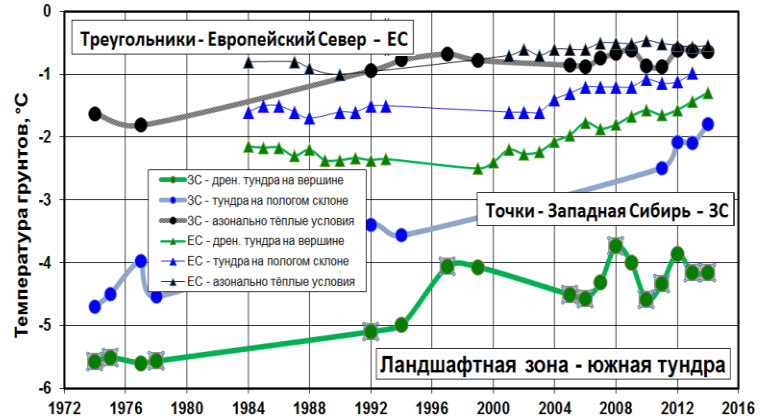


Рис.3. Повышение температуры ММП в разных ландшафтных условиях южной тундры на Европейском севере и в Западной Сибири

Глубина протаивания пород контролируются, прежде всего, среднелетними температурами воздуха и оказывается сходной на обоих стационарах. Результаты мониторинга свидетельствуют об увеличении глубины протаивания на дренированных участках южной тундры в последние 10-12 лет, но по сравнению с 80-ми годами XX века эта тенденция не подтверждается. Низкие среднегодовые и среднезимние температуры воздуха в Западной Сибири определяют достаточно суровые геокриологические условия в тундровых ландшафтах с температурами ММП  $-4 \dots -5^\circ\text{C}$  (рис.4), в то время как на Европейском Севере они попадают в интервал  $-1 \dots -2^\circ\text{C}$ .

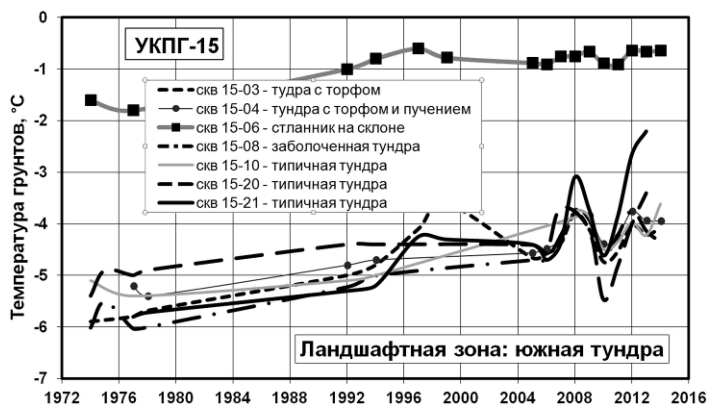


Рис.4. Типичное изменение среднегодовой температуры ММП в пределах различных тундровых ландшафтов, на азональных ольховниковых склонах (скв.15-06) и в зоне влияния песчаной отсыпки 2007 г. (скв.15-20 и 15-21 – резкие отскоки вверх и вниз) на геокриологическом стационаре Уренгойский (УКПГ-15)

Территорию стационаров следует рассматривать как **объекты мониторинга элементарного уровня**. Они должны быть ориентированы на срок работы не менее 25-35 лет, чтобы установить тренд и, по возможности, периодическую составляющую изменчивости геокриологических и гидрогеологических условий. Наблюдательными объектами геокриологического стационара являются буровые скважины и наблюдательные (за криогенными процессами) площадки. Карты геокриологического районирования в масштабе 1:25 000 ... 1:10 000 обосновывают теплофизическую и геоэкологическую модели территории стационара [Методическое... 1978, Ландшафты... 1983].

## Выводы

Таким образом, главной экологической проблемой рационального освоения криолитозоны в настоящее время следует признать воссоздание на новой основе иерархии картографических моделей и системы мониторинговых наблюдений за основными ее параметрами на специальных стационарах и полигонах на территории Арктики и Субарктики. Всего таких комплексных наблюдательных пунктов (полигонов) на перспективу до 2020 г. необходимо не более 8-12,

например, на основе «Карты геокриологического районирования криолитозоны России для выбора объектов мониторинга и обоснования наблюдательных сетей» (1:8 000 000) [Дубровин Крицук 2014].

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фундаментальных программ VIII.75.1 и VIII.77.2, интеграционных проектов СО РАН – ДВО РАН № 9 и СО РАН № 144, ОНЗ РАН № 12, госзаданий Минобрнауки № 9093 и № 1082, грантов Президента РФ НШ-5582.2012.5, РФФИ-РГО-13-05-41509 РГО, РФФИ 13-05-00811, 13-08-91001-АНФ-а, 14-05-00956, 15-55-71004\15, международных программ TSP, LCLUC, CALM, GTN-P, SWIPA, Администрации ЯНАО.

## Литература

- Дроздов Д.С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: автореф. дисс. на соиск. уч.степени д.г.-м.н. — Тюмень, 2004. — 49 с.
- Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Мельников Е.С., Соромотин А.В., Украинцева Е.А., Чекрыгина С.Н. Опережающее инженерно-геокриологическое и геоэкологическое картографирование районов перспективных экономических проектов // Криогенные ресурсы полярных регионов: Тр. Межд. Конф., том II, Салехард, июнь 2007 г. — Пушино, 2007. — С.264-267.
- Дроздов Д.С., Малкова Г.В., Украинцева Н.Г., Коростелев Ю.В. Мониторинг геокриологических условий южнотундровых ландшафтов Европейского Севера и Западной Сибири // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том3.: – Тюмень, Печатник, 2012, с. 159-164.
- Дубровин В.А. Геокриологические исследования в системе недропользования. Проблемы, задачи, пути решения. //Разведка и охрана недр. – 2011. №9. – С.36-42.
- Дубровин В.А. Крицук Л.Н. Проблемы геокриологических исследований в осваиваемых районах Арктики и Субарктики. // Разведка и охрана недр. – 2014. №8. – С.28-31
- Ландшафты криолитозоны Западной-Сибирской газоносной провинции / Под. ред. Е.С. Мельникова. — Новосибирск.: Наука, 1983. — 165 с.
- Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 (1:100 000 — 1:500 000). / Под ред. Е.С. Мельникова. — М.: Недра, 1978. — 391 с.
- Павлов А.В., Дубровин В.А. Экологическая опасность недропользования в районах вечной мерзлоты. // Разведка и охрана недр.—2000. —№5.— С.18-20.

## Результаты бурения скважин на шельфе Карского моря в районе геокриологического стационара Марре-Сале и ближайшая перспектива его изучения

В.А.Дубровин

*ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии ВСЕГИНГЕО, Моск. обл.*

### Реферат

Представлены результаты исследования верхней 20-метровой толщи донных отложений приямальского шельфа, вскрытого двумя буровыми скважинами ВСЕГИНГЕО в мае 2014 г, пробуренными на разном удалении от берега. Скважины оборудованы «Логгерами LPC» для мониторинговых наблюдений за динамикой температурного режима донных отложений, знание которой необходимо в связи с перспективным освоением месторождений углеводородов на шельфе. Получены результаты динамики температуры в одной из скважин за три летних месяца. В лабораторных условиях образцы донных отложений подверглись анализу состава и водно-физических свойств. Установлено, что вскрытая толща донных отложений представлена многолетне - охлажденными алевритистыми глинами и алевритами, имеющими пластичную либо текучую консистенцию. Проведена параллель между субаэральными и субаквальными разрезами стационара и установлено, что современные морские отложения представляют собой реликтовую морскую толщу, подвергшуюся криогенной метаморфизации в субаэральных условиях.

**Ключевые слова:** шельф, мониторинг, буровая скважина, измерительный комплекс, температура грунтов, засоленность.

## Engineering Drilling in Near-Yamal Bottom Shelf Sediments Nearby Marre-Sale Geocryological Key-Site and a Future Research Agenda

V.A.Dubrovin

*All-Russia Scientific and Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), Moscow, Russia*

### Abstract

The paper presents results of studying the upper 20m-thick Near-Yamal bottom shelf sediments, stripped by two boreholes of VSEGINGEO in May of 2014, drilled at different distances from the shore. The boreholes were equipped with the loggers LPC-F for monitoring observations of temperature regime dynamics in the bottom sediments, which was necessary to know in connection with the upcoming development of hydrocarbon deposits in the shelf. There were obtained data on the temperature regime for three summer months in one of the boreholes. The composition and aqua-physical properties of the sediments samples were analyzed in laboratory conditions. It was revealed that the stripped bottom strata consist of perennially cooled aleurolitic clays and aleurolites having a plastic or fluid consistence. A parallel was drawn between the subaerial and subaqueous cross-sections of the Station, which showed that the modern marine sediments represent relict strata, subjected to cryogenic metamorphization in the subaerial conditions.

**Key words:** shelf, monitoring, borehole, measuring complex, soil temperature, salt content.

### Введение

Арктический шельф России - крупнейший в мире источник неразведанных ресурсов углеводородов. До 2014г. на шельфе Карского моря было открыто 8 месторождений углеводородов в Обской и Тазовской губах, а также 2 газоконденсатных месторождения на открытом Приямальском шельфе.

Одной из острейших проблем изучения криолитозоны Приямальского шельфа является полное отсутствие данных о температурном режиме донных отложений в интервалах глубин инженерной деятельности, необходимых в связи с предстоящим освоением здесь месторождений углеводородного сырья. Поэтому в мае 2014 г. в рамках выполнения технического задания по

Государственному контракту ФА "Роснедра" на геокриологическом стационаре Марре-Сале были пробурены и впервые в отечественной практике оборудованы воздушно-сухой наблюдательной обсадной колонной две буровые скважины, глубиной по 20 м от морского дна, предназначенные для мониторинга динамики температурного режима донных отложений.

Бурение скважин на шельфе Карстационара Марре-Сале проводилось в мае 2014 г со льда, мощностью от 1,8 м до 2,3 м, буровыми станками "Стерх" и "УБШМ-20".

Первая скважина (15/14) была пробурена на изобате -5 м при удалении от берега на 860 м, вторая, на изобате ~ -4,5 м в 500 м от берега. После окончания бурения скважины были обсажены наблюдательными металлическими трубами диаметром 57 мм и

оборудованы измерительными комплексами LPC-F, с расстановкой датчиков в термокоре, начиная с поверхности донных отложений и далее через 1 м до забоя скважины. Оголовок трубы в придонном слое был оборудован гибким шлангом, диаметром 80 мм и длиной 8 м, который был снабжен специальными якорными грузами, препятствующими всплытию гибкого патрубка.

После завершения всех работ по оборудованию скважин была проведена проверка работоспособности наблюдательного пункта. В течение нескольких суток снимались температурные замеры в разрезе, свидетельствующие о полной выстойке скважин и стабилизации теплового режима грунтов, нарушенного в ходе буровых работ. Привязка местоположения пробуренных скважин была выполнена различными способами, включая GPS-навигатор, теодолит, береговые створы различных конструкций.

### Температура донных отложений Прямальского шельфа

Уже первые значения температурных замеров в скважинах, пробуренных ВСЕГИНГЕО на шельфе, дали представление о некоторых особенностях температурного режима донных отложений в районе геокриологического стационара Марре-Сале. Анализ кривых показывает, что температура 20-метровой толщи донных отложений в конце зимы изменялась в интервале от  $-0,1...-0,3^{\circ}\text{C}$  до  $-1,8...-2,0^{\circ}\text{C}$ .

После схода ледового покрова в августе 2014 г. были сняты данные мониторинговых наблюдений за период май-август 2014 г. Разновременные замеры очень плотно легли на график, что свидетельствует о высокой точности измерения. Четко видна тенденция постепенного понижения температуры в интервале глубин 6-14 м. Анализ полученных кривых дает основание полагать наличие влияния на температуру донных отложений глобального потепления, наблюдавшегося в последнее десятилетие, как это зафиксировано в наземных скважинах. Подтвердить либо опровергнуть это предположение поможет картина круглогодичной динамики температуры в скважинах на шельфе, которую планируется получить в 2015 г.

При этом на глубине 6 м температура алевритистых глин понизилась с 19 мая по 20 августа с  $-0,6^{\circ}\text{C}$  до  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , а на глубине 8 м с  $-0,3^{\circ}\text{C}$  до  $-0,7^{\circ}\text{C}$ . Температура на дне моря в скважине 15-14 за наблюдавшийся период изменялась от  $-1,9^{\circ}\text{C}$  до  $+4,0^{\circ}\text{C}$ . На глубине 20 м от дна температура донных отложений составила  $-1,4^{\circ}\text{C}$  (рис.1).

### Геологическое строение шельфа

Донные отложения в скважине 15-14 представляют собой алевритистые глины в разной степени пластичные (от мягкопластичных и текучепластичных до текучих) с прослоями алевритов в интервалах: 14,5-15,0 м; 21,0-23,5 м; 25,0-25,3 м текучей консистенции. Для алевритистых глин в обеих скважинах характерно высокое содержание опоквидного материала, в результате чего они оказываются сверхпластичными (т.е. раскатываются в

очень тонкий шнур) и липнут к губам, что характерно для палеогеновых отложений Западной Сибири.

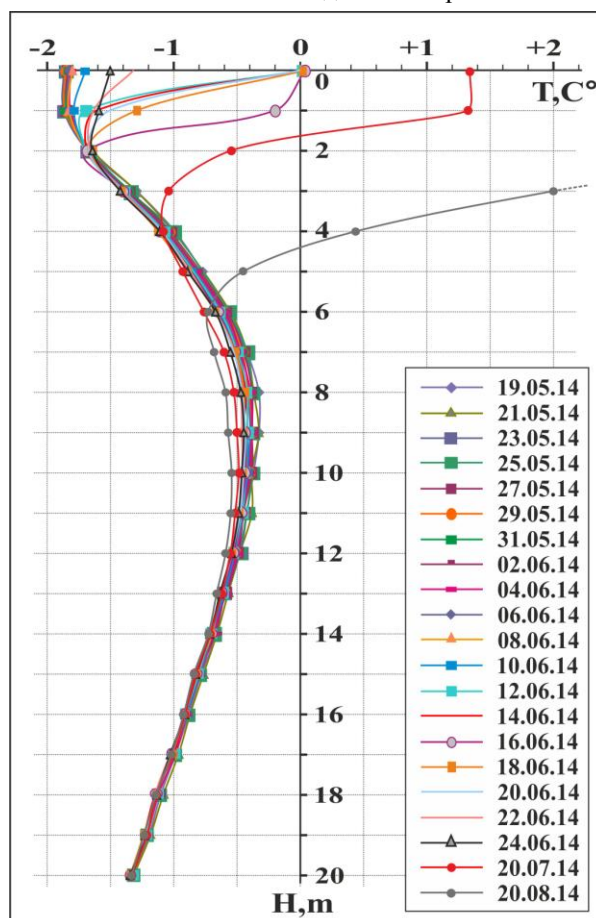


Рис.1. Изменение температуры донных отложений в скв.15-14 за период с мая по август 2014г.

Донные отложения в обеих скважинах засолены (рис.2). Содержание солей изменяется в интервалах 0,7-1,2 г на 100 г грунта. Засоление морское с резким преобладанием ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{Na}^+$ . Однако соотношение ионов в отложениях обеих скважин отличается от типично морского. Практически во всех опробованных образцах донных отложений (кроме песков в скважине 16-14) наблюдается повышенное содержание ионов  $\text{Cl}^-$  (95-96 %-экв) и  $\text{Na}^+$  (93-95 %-экв), что является признаком криогенной метаморфизации порового раствора; аномально мало содержится ионов  $\text{Mg}^{2+}$ ; значительно меньше, чем в морской воде ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  (лишь в песке в скв.16-14 содержание сульфат-иона близко к значению показателя в морской воде). В отличие от современной морской воды все опробованные образцы (38 шт.) содержат ионы  $\text{HCO}_3^-$  (до 3-4 %-экв. в скв.15-14 и до 6-7 %-экв. скв.16-14). Постоянное присутствие в донных отложениях ионов  $\text{HCO}_3^-$  позволяет утверждать, что морские отложения, слагающие разрезы обеих скважин, подверглись криогенной метаморфизации в *субаэральных* условиях.



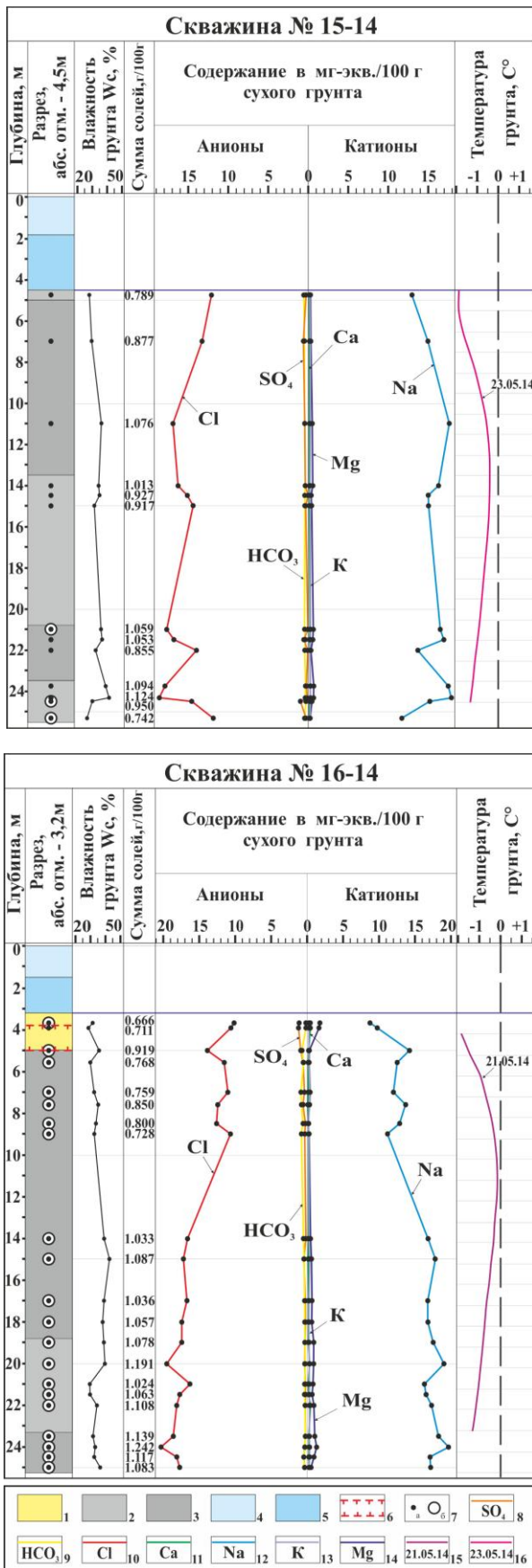


Рис.2. Геологические разрезы буровых скважин ВСЕГИНГЕО на шельфе близ стационара Марре-Сале

Анализ данных показывает, что в разрезах скважин на шельфе стабильно содержатся соли континентального происхождения: гидрокарбонаты магния и калия, а также сульфат натрия, что свидетельствует о промытости изученной морской толщи пресными водами (озерными, речными или подземными).

Описанные выше особенности солевого состава и сверхпластичность придонных отложений шельфа дают основание предполагать их доплейстоценовый возраст и эрозийный характер геологического разреза шельфа. Доказательством этого предположения служат результаты многолетних исследований динамики берега Карского моря, выполненные на стационаре Марре-Сале сотрудниками института ВСЕГИНГЕО.

Анализ повторных аэро-фото- и космических снимков с использованием ГИС-технологий позволил установить, что ежегодное (среднегодовое) отступление подножья береговых обрывов Карского моря в районе пос. Марре-Сале за 44 года (с 1969 г. по 2013 г.) равно 1,5 м, что составляет ~ 150 м в столетие. Таким образом, по-видимому, 300-350 лет назад берег моря здесь находился на расстоянии 450-500 м от современного положения, а 500-600 лет назад - на расстоянии 800-900 м. Это означает, что пробуренные в 2014г скважины на дне шельфа вскрыли древние субаэральные разрезы.

### Перспектива исследований в прибрежно-шельфовой зоне Карского моря в районе геокриологического стационара Марре-Сале.

Целью продолжения работ является оценка теплового состояния ММП в прибрежно-шельфовой зоне и материковой части, как индикатора интегральной устойчивости криолитозоны в естественных условиях. При этом основополагающей задачей будет разработка постоянно-действующей модели теплового взаимодействия «шельф-суша» на полигоне Марре-Сале на основе построения геолого-геокриологического разреза по действующим мониторинговым скважинам, расположенных в основных типах мерзлых толщ от высоких морских равнин до мелководного шельфа и увязки модели с базой температурных данных.

### Выводы

Исследование верхней 20-метровой толщи донных отложений Приамальского шельфа, вскрытого двумя буровыми скважинами ВСЕГИНГЕО в мае 2014, предназначенными для мониторинга температурного режима донных отложений, позволило сделать следующие выводы.

- Оснащение буровых скважин автономной автоматической измерительной аппаратурой на базе "Логгер-4РС" дало возможность сразу же получить значения температуры донных отложений и в последующем снять мониторинговые замеры с наперед заданной частотой ( 2 раза в сутки). Температура донной поверхности в скважине 15-14 за период наблюдений (три месяца) изменилась от -1,9°С до +4,0°С. На глубине

20 м от дна температура донных отложений составила  $-1,4^{\circ}\text{C}$  в скважине 15-14 и  $-1,3^{\circ}\text{C}$  в скважине 16-14. В интервале глубин 6-14 м за период наблюдения в скв. 15-14 температура понизилась на  $0,1...0,4^{\circ}\text{C}$ .

• Получены данные о составе и свойствах донных отложений Приямальского шельфа, которые позволили установить, что изученная толща донных отложений представлена многолетне – охлажденными алевритистыми глинами и алевритами, имеющими пластичную либо текучую консистенцию. Она представляет собой реликтовую мерзлую толщу, подвергшуюся криогенной метаморфизации в субэаральных условиях.

• Впервые в регионе детально изучены диатомовые комплексы на Карском шельфе. Установлено, что диатомеи из 22 образцов глинистых отложений (взятых из обеих скважин) представлены морскими вымершими видами, характерными для диатомовой зоны *Puzosia gracilis* нижнего эоцена и типичными для верхней подсвиты люлинворской свиты Западной Сибири и Восточного Урала. И только в одном образце (в мелких песках) из верхней части разреза прибрежной скважины установлен комплекс современных морских сублиторальных диатомей.



## Земляное полотно высокоскоростных железнодорожных линий на вечномёрзлых грунтах

П.И.Дыдышко

Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»), 129626, д. 10, 3-я Мытищинская ул., г. Москва, Россия, [otdputi@mail.ru](mailto:otdputi@mail.ru)

### Реферат

Приводятся требования к конструкциям земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий на вечномёрзлых грунтах. Рассмотрены различные виды земляного полотна – насыпи, выемки и нулевые места, а также водоотводные, укрепительные и защитные сооружения. В верхней части земляного полотна назначают защитный слой из дренирующего грунта, который не изменяет свое состояние и свойства при сезонном промерзании-оттаивании. Этот слой устраивают на 0,5 м ниже максимальной глубины оттаивания грунтов, которую прогнозируют расчетом. Защитный слой и насыпи армируют геосеткой из базальтоволокна, укладывая ее через 1 м по высоте на всю ширину. В пределах участков с залеганием просадочных (III тип с относительной осадкой  $\delta$  от 0,1 до 0,4) и сильнопросадочных (IV тип со значением  $\delta > 0,4$ ) грунтов основания, а также подземных льдов до глубины 4 м от поверхности индивидуально предусматривают мероприятия по сохранению мерзлого состояния этих грунтов. В этих условиях следует назначать размещение под насыпью охлаждающих устройств (длинномерных термосифонов). Указанный способ утвержден для применения на эксплуатируемых линиях и полностью обеспечивает стабильность земляного полотна на вечномёрзлых грунтах. В выемках укладывают защитный слой и производят замену грунта на дренирующий в пределах откосных частей.

**Ключевые слова:** вечномёрзлые грунты; высокоскоростные железнодорожные линии; замораживание грунта; защитные слои из дренирующего грунта; земляное полотно; охлаждающие устройства.

### Subgrade of High-Speed Railway on the Permafrost

P.I.Dydyshko

Open Joint-Stock Company “Railway Research Institute” (JSC “VNIIZhT”), 129626, 3rd Mytischinskaya Street, 10, Moscow, Russia, [otdputi@mail.ru](mailto:otdputi@mail.ru)

### Abstract

Herewith the requirements to constructions of subgrade of high-speed railway on the permafrost grounds are reported. Different types of subgrades are examined, i.e. – embankments, ditch cuts and zero level, drainage and strengthening structures and also defense constructions. At the top of the subgrade a mat coats is constituted, it is made of drainage soil that does not change its state and characteristics while seasonal freeze/thaw cycles. This coat is placed 0.5 m lower than the maximum deep of thawing of ground, which is estimated by calculation. Defense constructions and embankments to be reinforced with a geonet of basalt fibers, the net to be placed every 1 m of height and across the entire width. Measures to preserve the frozen state of the following soils shall be anticipated: bedded collapsible (III type of differential settlement  $\delta$  from 0.1 to 0.4) and highly collapsible (IV type with value  $\delta > 0.4$ ) soil of foundation and subsurface ice within 4 m below the surface as well. In these conditions, cooling apparatus (long thermic syphon). must be placed under the embankments. The mentioned method is approved to be used at the exploited railways and guarantees completely stability of the subgrade on the permafrost grounds. A mat coat to be placed in the ditch cuts and the soil within back slopes is replaced with drainage soil.

**Key Words:** cooling apparatus; carpet coats of drainage grounds; ground freezing; high-speed railway; permafrost grounds; road bed.

### Введение

Вид и конструкцию земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий назначают при технико-экономическом обосновании трассы этих линий на основе анализа состояния объектов в аналогичных условиях, изучения геоморфологических и климатических условий, ландшафтной характеристики местности, природных процессов и явлений, и других. Их уточняют в процессе проектирования после инженерных изысканий.

При проектировании необходимо обеспечивать несущую способность грунтов и устойчивость земляного

полотна с учетом вибродинамического воздействия поездов.

Земляное полотно должно обеспечивать стабильность верхнего строения пути с целью реализации заданного объема перевозок пассажиров с расчетной скоростью движения поездов при минимальных дисконтируемых суммах строительных и эксплуатационных затрат, максимальном сохранении ценных земель и наименьшем ущербе природной среде [Технический регламент ТС].

### Исходные данные для проектирования

Земляное полотно высокоскоростных железнодорожных линий на вечномёрзлых грунтах

необходимо проектировать на основе результатов инженерно-геологических, инженерно-геокриологических, инженерно-геодезических, инженерно-гидрометеорологических и гидрологических изысканий.

Глубину выработок (скважин) следует назначать не менее чем на 4 м ниже расчетной, прогнозируемой глубины промерзания-оттаивания земляного полотна. В пределах насыпей кроме этого основание должно быть пройдено выработками на глубину не менее 6 м. Скважины в каждом поперечном сечении предусматривают по оси путей и в средней части откосов.

На земляном полотне каждого вида (выемка, нулевое место, насыпь), но не менее чем через 1 км, следует закладывать не менее одной скважины до глубины от 10 до 15 м от проектной отметки бровки, а на насыпях высотой более 4 м – от ее подошвы. В этих поперечных сечениях грунты разведывают также с каждой стороны на удалении от 50 до 150 м от оси земляного полотна не менее чем одной скважиной.

Частоту выработок назначают в зависимости от сложности инженерно-геологических условий [Дыдышко 2014] от 200 до 50 м.

В состав инженерно-геологических изысканий следует включать мерзлотную съемку. При этой съемке с использованием сверхлегких летательных аппаратов, космо- и аэрофотоматериалов устанавливают наличие участков термокарстовых образований, наледей, бугров пучения, морозобойных трещин, термоэрозии, термоабразии, солифлюкации, курумов, марей. Для оконтуривания пластов, линз и жил подземного льда, или жил грунта в нем, таликов и перелетков, островов вечномерзлых грунтов, термокарстовых полостей, горизонтов над-, меж- и подмерзлотных вод используют геофизические методы разведки (георадиолокацию, электро- и сейсморазведку).

Термометрические скважины по оси земляного полотна устраивают до глубины 18 м ниже проектной отметки в выемках и на нулевых местах и 15 м ниже подошвы насыпей. Эти скважины располагают на каждом ландшафтном типе. При выделении ландшафтных типов за индикационную основу принимают рельеф, литолого-генетический тип грунтов, растительный и снежный покровы и глубину промерзания-оттаивания этих грунтов.

Подразделение вечномерзлых грунтов по их температуре на низкотемпературные и высокотемпературные для железнодорожного земляного полотна не производится. Эти грунты характеризуют как мерзлые или оттаивающие.

При бурении отбирают полный колонковый керн, устанавливая криогенную текстуру этих грунтов (массивная, слоистая или сетчатая), суммарную толщину прослоев или линз льда, а также относительную просадочность при оттаивании без нагрузки.

Земляное полотно в районах распространения вечномерзлых грунтов на основаниях с величиной относительной осадки более 0,1, на наледных участках,

на участках с наличием подземного льда, развития термокарста, солифлюкции, бугров пучения, проектируют индивидуально.

### Требования к земляному полотну

На участках с просадочными при оттаивании грунтами должны соблюдаться следующие требования:

– водопропускные сооружения необходимо проектировать во всех естественных понижениях продольного профиля, а на слабосточных участках они должны предусматриваться не реже, чем через 500 м;

– мосты и трубы необходимо располагать на естественном водотоке, не допуская их размещения в бортах логов и русел;

– пересыпание водотоков насыпью с отводом русел не допускается.

Для насыпей следует использовать скальные раздробленные слабыветривающиеся грунты, крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут. (дренирующие грунты). При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается использовать глинистые грунты, характеризующиеся влажностью на границе текучести  $w_L \leq 0,35$ , с показателем текучести  $I_L \leq 0,25$ , а также крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем, имеющим указанный показатель текучести. Насыпи устраивают, как правило, высотой не менее 2,5 м.

В верхней части земляного полотна всех видов из глинистых грунтов, а также на нулевых местах и в выемках, сложенных мелкими и пылеватыми песками, легковыветривающимися и выветривающимися скальными грунтами, необходимо предусматривать устройство защитного слоя из дренирующих грунтов. Этот слой устраивают на 0,5 м ниже максимальной прогнозируемой глубины промерзания-оттаивания (см. **Расчет глубины промерзания-оттаивания вечномерзлых грунтов**, далее расчет).

При использовании песков в верхней части защитного слоя (на основной площадке) и на его откосах за исключением их нижней части высотой 0,8 м следует назначать укрепление этих песков. Крутизну откосов принимают равной 1:2.

Глинистые грунты под защитным слоем в выемках, на нулевых местах и насыпях также подлежат укреплению.

Укрепляемые слои должны содержать смесь из 70% песка среднего и 30% суглинка, характеризуемого влажностью на границе текучести  $w_L = 0,28$ . Эту смесь в слое толщиной 0,4 м укрепляют жидкими и порошковыми добавками полифлизаторов [Инструкция, 2012] соответственно в количестве 1,4 л/м<sup>3</sup> и 60 кг/м<sup>3</sup>.

Поверхности укрепленного грунта под каждым путем придают уклон 0,04 в полевую сторону.

В местах с залеганием глинистых, а также песчаных и крупнообломочных с глинистым заполнителем непросадочных (I тип со значением  $\delta < 0,03$ ) и

малопродолжительных (II тип со значением  $0,03 < \delta \leq 0,1$ ) грунтов основания поперечный профиль земляного полотна проектируют в соответствии со схемой рис. 1.

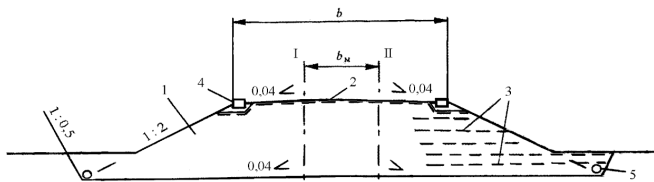


Рис. 1. Поперечный профиль насыпи на вечномёрзлых грунтах I – II типов с заменой этих грунтов на дренирующие: 1 – защитный слой из дренирующего грунта; 2 – нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 3 – геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 4 – лоток для кабелей; 5 – дренаж

По краям замены грунтов в основании следует укладывать дренажи с продольным уклоном не менее 0,005 и поперечными выпусками не реже чем через 500 м.

На всю ширину защитного слоя и насыпи через 1 м по высоте укладывают геосетку из базальтоволокна.

В пределах участков с залеганием просадочных (III тип с относительной осадкой  $0,1 < \delta \leq 0,4$ ) и сильнопросадочных (IV тип со значением  $\delta > 0,4$ ) грунтов основания до глубины 4 м от поверхности индивидуально предусматривают мероприятия по сохранению мерзлого состояния этих грунтов.

Насыпи на III – IV типах вечномёрзлых грунтов основания следует проектировать с использованием охлаждающих устройств (длинномерных термосифонов), рис. 2.

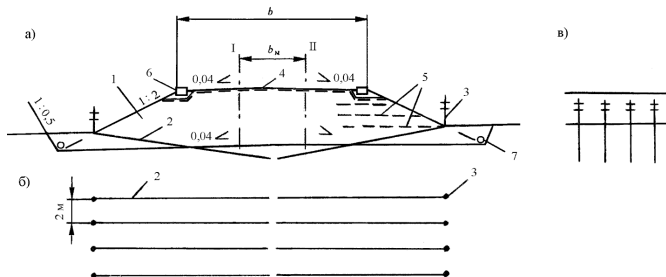


Рис. 2. Схема конструкции насыпи на вечномёрзлых грунтах III – IV типов с заменой этих грунтов на дренирующие с охлаждающими устройствами: а) поперечный профиль; б) план; в) продольный разрез; 1 – защитный слой из дренирующего грунта; 2 – испаритель; 3 – конденсатор; 4 – нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 5 – геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 6 – лоток для кабелей; 7 – продольный дренаж

Для длинномерных термосифонов используют трубы диаметром 32 мм из алюминиевого сплава. Охлаждающие устройства состоят из наклонной части (испарителя), располагаемой в грунте, и вертикальной части (конденсатора), размещаемой над поверхностью грунта. Находящаяся в трубах жидкость (например, фреон-22), выполняет роль теплоносителя при отрицательной температуре воздуха в зимний период.

В просадочных III типа и выше вечномёрзлых грунтах основания в выемках и на пулевых местах следует проектировать замену этих грунтов на всю толщину слоя сезонного промерзания-оттаивания на дренирующие грунты в соответствии со схемой рис. 3.

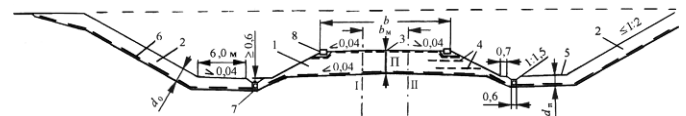


Рисунок 3. Схема замены просадочных III – IV типа вечномёрзлых грунтов основания в выемке: 1 – замена грунтов на дренирующий под основной площадкой; 2 – то же в откосах и на закуветных полках; 3 – нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 4 – геосетка из базальтоволокна в дренирующих грунтах под основной площадкой; 5 – закуветная полка; 6 – нетканый материал и геомембрана; 7 – подкуветный дренаж; 8 – лоток для кабелей

$$H = Z_{\text{пр-от}}^{\text{рл}} + 0,5; d_0 = 0,6 Z_{\text{пр-от}}^{\text{рл}} \quad (\text{см. расчёт})$$

В местах, где выемка прорезает линзу льда, производят раскрытие выемки в пределах контура линзы на такую ширину, чтобы лед из откосов был удален. При значительном простираии слоя льда, обнажаемого на откосах выемки, его прикрывают слоем дренирующего грунта толщиной  $1,5 Z_{\text{пр-от}}^{\text{рл}}$  (см. расчёт).

При залегании слоя льда ниже бровки земляного полотна на глубине менее или равной  $1,5 Z_{\text{пр-от}}^{\text{рл}}$  предусматривают удаление льда и замену его дренирующим грунтом под основной площадкой.

Выемки, прорезающие водоносные горизонты, ограждают дренажными устройствами или противоналедными сооружениями. Последние предусматривают на участках наледей, действующих в природных условиях или прогнозируемых.

Дренажи разрешается применять только при дебите источника и температуре грунтовой воды, обеспечивающих круглогодичную работу дренажа, или в случаях осуществления мероприятий, предохраняющих дренаж от промерзания.

Притрассовые дороги на участках с просадочными (II – IV типа) грунтами необходимо проектировать на раздельном полотне не ближе 150 м от оси пути.

Проектирование противоналедных мероприятий и устройств следует производить в местах наличия или возможного возникновения наледей в индивидуальном порядке на основании материалов инженерно-геологических и инженерно-геокриологических изысканий. В зависимости от местных условий следует применять следующие противоналедные мероприятия:

- углубление и спрямление русел водотоков, увеличение уклона русла;
- осушение местности открытыми канавами;
- каптаж, устройство дренажей, глубоких утепленных лотков при постоянно возникающих в зимнее время наледах;
- устройство грунтовых мерзлотных поясов и водонепроницаемых экранов, валов из грунта, заборов.

Для устройства мерзлотных поясов следует применять длинномерные термосифоны. Их размещают вдоль пути в траншеях с продольным уклоном не менее 0,1, которые засыпают вынутым грунтом. Расстояние между термосифонами следует принимать 2 м, количество термосифонов в поперечном сечении – не менее 4-х.

### Расчет глубины промерзания-оттаивания вечномерзлых грунтов

Глубину сезонного промерзания-оттаивания грунтов земляного полотна высокоскоростных линий и внешних примыкающих путей следует определять расчетом с помощью номограмм рис. 4. Ее значение устанавливают в зависимости от суммы градусо-суток отрицательных температур наружного воздуха  $\Omega$ , °С·сут, или положительных его температур  $A$ , °С·сут, для конкретного района и суммарной толщины слоя балластных и дренирующих материалов  $h_n$ , м, располагающихся над глинистыми грунтами земляного полотна.

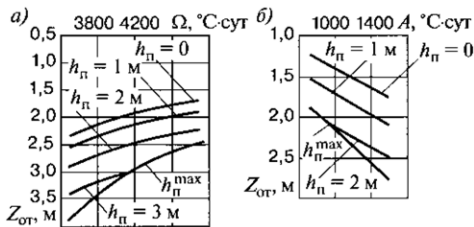


Рис. 4. Номограммы для определения глубины промерзания-оттаивания грунтов на участках со сливающейся мерзлотой в земляном полотне в районах южнее 60°с.ш. и восточнее 110°в.д. (а) и в северных районах (б).

Расчетную глубину промерзания-оттаивания земляного полотна, сложенного дренирующими грунтами, по оси пути необходимо устанавливать по формуле:

$$Z_{пр-от}^{рл} = K_B \alpha Z_{пр-от}^д, (1)$$

где  $K_B$  – коэффициент, характеризующий вид грунта;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий фактические величины теплофизических характеристик грунта;  $Z_{пр-от}^д$  – глубина промерзания-оттаивания однослойного дренирующего грунта, м.

Для дренирующего грунта принимают значение  $K_B = 86$ , для глинистого грунта  $K_B = 140$ .

Значения коэффициента  $\alpha$  при определении глубины сезонного оттаивания в условиях сливающейся мерзлоты в земляном полотне находят по формуле:

$$\alpha = \sqrt{\lambda_T / Q}, (2)$$

где  $\lambda_T$  – фактический коэффициент теплопроводности талого грунта, ккал/(м·ч·°С), принимаемый для дренирующего грунта (песок) по номограмме, приведенной на рис. 5;  $Q$  – количество теплоты льдообразования, ккал/м<sup>3</sup>,

$$Q = \rho_d (w^p / 100) i 80, (3)$$

где  $w^p$  – расчетная влажность грунта, %, принимаемая наибольшей из величин, установленных по данным

инженерно-геологического обследования в осенний период и согласно равенству (для глинистых грунтов)  $w^p = 0,8w_L$ ;  $i$  – коэффициент, характеризующий количество замерзшей воды в грунте, принимаемый равным: 1,0 для песка; 0,9 для супеси и суглинка легкого; 0,8 для суглинка тяжелого и глин.

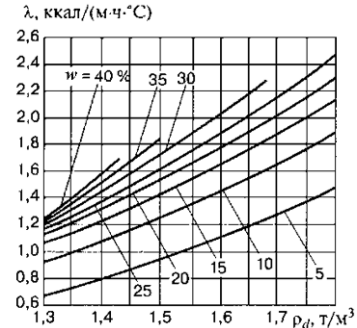


Рис. 5. Номограммы для определения значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$  талых песчаных грунтов в зависимости от их влажности  $w$  и плотности скелета  $\rho_d$

При расположении в нижней части зоны промерзания-оттаивания глинистых грунтов на внешних примыкающих путях расчетную глубину промерзания-оттаивания этой двухслойной толщи (дренирующие и глинистые грунты) определяют по формуле:

$$Z_{пр-от}^р = Z_{пр-от}^{рп} + \Delta \frac{Z_{пр-от}^{рл} - Z_{пр-от}^{рп}}{Z_{пр-от}^д - Z_{пр-от}^{рп}}, (4)$$

где  $Z_{пр-от}^{рп}$  – расчетная глубина промерзания-оттаивания однослойного глинистого грунта:

$$Z_{пр-от}^{рп} = K_B \alpha Z_{пр-от}^п, (5)$$

где  $K_B$  – коэффициент для глинистого грунта (см. выше);  $Z_{пр-от}^п$  – глубина промерзания однослойного глинистого грунта, определяемая по кривой  $h_n = 0$  номограмм рисунка 4;  $\Delta$  – разность между глубиной промерзания двухслойного и однослойного глинистого грунта

$$\Delta = Z_{пр-от}^{дп} - Z_{пр-от}^п, (6)$$

В выражении (6)  $Z_{пр-от}^{дп}$  – глубина промерзания – оттаивания, определяемая по кривой номограмм рис. 4, соответствующей величине  $h_n$ , которую принимают равной общей толщине слоя дренирующих грунтов, включая балластный слой.

### Литература

Дыдышко П.И., Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». – М.: Интекст, 2014. – 416 с.  
 Инструкция по усилению железнодорожного пути укрепляющими добавками полифилизаторов: утв. распоряжением ОАО «РЖД» 24.07.2013. № 1619р.  
 Технический регламент ТС. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта (ТР ТС 002/2011): утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710.

## Влияние психротолерантных мезофильных бактерий на морфометрические показатели *Allium cepa L.*

О.В.Еноктаева

Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

В.А.Мальчевский

Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

ФГБОУ ВПО «Тюменская государственная медицинская академия», Тюмень

А.М.Субботин

Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень

Е.О.Симонова

Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

Е.Н.Нялин

ФГБОУ ВПО «Тюменская государственная медицинская академия», Тюмень

### Реферат

Исследовано влияние психротолерантных мезофильных бактерий рода *Bacillus* на морфометрические показатели лука репчатого (*Allium cepa L.*). Изучены в динамике морфометрические показатели корневой системы и пера. Критерием оценки корневой системы являлось изменение длины корней. Критериями оценки пера являлись масса пера, количество листьев, максимальная длина пера. Доказано, что психротолерантные мезофильные бактерии рода *Bacillus* не оказывают отрицательного влияния на морфометрические показатели *Allium cepa L.*

**Ключевые слова:** *Allium cepa L.*, психротолерантные мезофильные бактерии рода *Bacillus*.

## Influence Psychrotolerant Mesophilic Bacteria on Morphometric Parameters *Allium cepa L.*

O.V.Enoktaeva

Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

V.A.Malchevskiy

Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia

Tyumen State Medical Academy, Tyumen

A.M.Subbotin

Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia

E.O.Smirnova

Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia

E.N.Nyalin

Tyumen State Medical Academy, Tyumen, Russia

### Abstract

The effect psychrotolerant mesophilic bacteria of the genus *Bacillus* on morphometric parameters of onion (*Allium sulfur L.*) was studied. We studied the dynamics of morphometric parameters of the root system and a quill. The criteria for assessing the root system is the change in length of the roots. The evaluation criteria were the weight of the quill, the number of leaves, the maximum length of the quill. It is proved that psychrotolerant mesophilic bacteria of the genus *Bacillus* not adversely affect the morphometric parameters *Allium cepa L.*

**Key Words:** *Allium cepa L.*, psychrotolerant mesophilic bacteria of the genus *Bacillus*.

### Введение

Лук репчатый (*Allium cepa L.*) является широко распространенной овощной культурой. Урожайность лука зависит от влажности почвы и содержания в ней минеральных веществ. В связи с этим морфометрические показатели корней и пера играют огромную роль в урожайности данной сельхозкультуры.

Активация роста корневой системы и надземных органов позволяет растениям с наибольшей эффективностью использовать ресурсы внешней среды для формирования фотосинтетического аппарата и закладки органов плодоношения [Трапезникова и др 1999]. Создание микробных биотехнологий для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур является перспективным направлением экологического



земледелия [Моргун и др 2009]. В связи с выше изложенным, разработка стимуляторов роста растений на основе микроорганизмов, является актуальной.

**Цель:** Оценить влияние психротолерантных мезофильных бактерий рода *Bacillus* на рост корневой системы и пера *Allium cepa L.*

### Материал и методы

Материалом для эксперимента послужили луковицы *Allium cepa L.* сорт российской селекции ВНИИССОК «Черный принц». Растения массой 10-20 г выращивали в пробирках, заполненных 50 мл дистиллированной воды. Через 48 ч растения, у которых отсутствовало проросшее перо, а длина корней достигла  $1,8 \pm 0,3$  см, распределили на 2 экспериментальные группы. В контрольной группе в качестве среды для проращивания использовали смыв с агара, в опытной группе – суспензию бактериальных клеток концентрацией  $1 \times 10^{12}$  м.кл./мл дистиллированной воды. Штамм бактерий рода *Bacillus MG8*, выделенный из проб многолетнемерзлых пород левого берега р.Алдан (Якутия, Мамонтова гора), идентифицированный по 16S RNA, культивировали на бактериологическом агаре при температуре  $+36^\circ\text{C}$  в течение 24 ч. После определения количества клеток бактерий методом серийных разведений, в исходной суспензии плотность культур доводили до рабочих концентраций.

Выборка в каждой экспериментальной группе составила 10 луковиц. Через 96 часов выращивания на

каждом растении определяли длину корневой системы в см и массу в г, количество и максимальную длину проросшего пера в см. Статистический анализ данных осуществлялся при помощи программы BioStat.

### Результаты и их обсуждение

Поверхность корней значительно превосходит поверхность надземной части растений, что обусловлено функционированием корневой системы, эволюционно приспособленной к поиску и поглощению элементов питания, содержащихся в почве, как правило, в небольших количествах [Трапезникова и др 1999]. Из этого следует, что стимуляция роста корневой системы *Allium cepa L.* будет приводить к повышению урожайности пера.

Так как за время эксперимента достоверных различий по изменению длины корней в обеих экспериментальных группах обнаружено не было (Таблица 1), можно утверждать, что штамм бактерий рода *Bacillus MG8* не оказывает ингибирующее воздействие на рост корневой системы *Allium cepa L.* Об этом свидетельствует так же то, что при отрицательном действии изучаемого фактора на корневую систему может происходить торможение роста не только корней, но и остальных частей растения [Трапезникова и др 1999], что в нашем случае не наблюдается.

Таблица 1. Морфометрические показатели корневой системы *Allium cepa L.*

Группа	Длина корней до начала эксперимента, см (0 ч)	Длина корней через 96 ч проращивания, см	Прирост корней, см
Контрольная	$1,7 \pm 0,2$	$6,0 \pm 2,7$	$4,3 \pm 3,7$
Опытная	$1,8 \pm 0,3$	$6,4 \pm 2,4$	$4,6 \pm 1,7$

Перо лука репчатого является выгоночной зеленой культурой, которая характеризуется высокой скороспелостью и урожайностью [Тугова и др 2013]. Благодаря высокому содержанию биологически активных

веществ в листьях лука данное растение обладает значительными питательными и медикаментозными свойствами [Смирягин 2013].

Таблица 2. Морфометрические показатели пера *Allium cepa L.*

Группа	Масса пера, г	Количество листьев	Максимальная длина пера, см
Контрольная	$0,39 \pm 0,18$	$9,75 \pm 3,6$	$1,87 \pm 0,6$
Опытная	$0,39 \pm 0,10$	$10,5 \pm 2,74$	$2,37 \pm 0,62$

Достоверных различий по массе, количеству листьев и максимальной длине проросшего пера между экспериментальными группами так же обнаружено не было (табл.2). Отметим, что полученные данные в опытной группе по длине корней и параметрам пера незначительно превышали значения в контрольной группе.

### Выводы

Психротолерантные мезофильные бактерии рода *Bacillus* не оказывают отрицательного влияния на морфометрические показатели корневой системы и пера *Allium cepa L.*

### Литература

- Моргун В.В., Коць С.Я., Кириченко Е.В. Ростстимулирующие ризобактерии и их практическое применение // Физиология и биохимия культ. растений. – 2009. – Т. 41. – № 3. – С. 187 – 207.
- Смирягин В.В. Выращивание лука на перо на различных субстратах в теплице индивидуального сектора / В.В. Смирягин // Вестник ТГУ. – 2013. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 1285-12887.
- Трапезникова В.К., Иванов И.И., Тальвинская Н.Г. Локальное питание растений. – Уфа: Гилем, 1999. – 258 с.
- Тугова Т.Н., Дурова А.В., Швецов А.М. Влияние подготовки посадочной луковицы на рост, развитие и урожайность зеленого лука // Вест. Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. – 2013. – Вып. 1. – С. 40 – 45.





## Системы автоматизированного температурного мониторинга земляного полотна на вечной мерзлоте

И.И.Ерёмин

ОАО НПП «Эталон», 644009, г. Омск, ул.Лермонтова, 175, тел.: (3812) 36-75-85

### Реферат

Для безопасности функционирования объектов транспортной инфраструктуры и нефтегазового комплекса в северных районах России предложено осуществлять температурный мониторинг объектов с целью выявления и устранения аварийных ситуаций в районах вечномёрзлого грунта с помощью различных систем мониторинга температур.

**Ключевые слова:** криолитозона; многолетние изменения; мониторинг; температура грунтов; термокоса; контроллер.

### Automated Temperature Monitoring Subgrade in Permafrost

I.I.Eremin

JSC SPI «Etalon», 175, Lermontov Str., Omsk, Russia, 644009, e-mail: fgup@omsketalon.ru

### Abstract

For the safety of the operation of the oil and gas facilities and construction of facilities in the northern regions of Russia it was proposed to monitor the temperature of objects in order to identify (detect) and remove emergency areas in permafrost soil regions by means of the temperature monitoring system.

**Key Words:** permafrost, long-term changes, monitoring, soil temperature, multizonal gage, controller.

### Введение

ОАО НПП "Эталон" специализируется на разработке и производстве технических средств измерения температуры и метрологического оборудования для их поверки.

Предприятие имеет тесные постоянные связи с ведущими метрологическими институтами страны, НИИ различных отраслей и проектными организациями.

На предприятии имеется собственное специальное конструкторское бюро, что позволяет самостоятельно проводить разработку изделий на современном техническом уровне. Все изделия, разрабатываемые на предприятии, проходят сертификацию и заносятся в Государственный Реестр средств измерений

Система качества с 1998 г. сертифицирована на соответствие международным стандартам ISO 9001:2008 и стандартам ГОСТ ISO 9001-2011.

**Номенклатуру продукции предприятия составляют:**

**Датчики:**

- температуры: 153 типа (8000 модификаций),
- теплового потока: 4 типа (25 модификаций).

**Метрологическое оборудование:**

- для теплофизических измерений 16 типов (69 модификаций),
- эталонные меры СВЧ-диапазона: 163 типа (368 модификаций)

**Приборы:** 42 типа (68 модификаций)

**Микроэлектроника:** 60 типа (379 модификаций)

### Прочее: более 400 типов

Для безопасности функционирования объектов транспортной инфраструктуры и нефтегазового комплекса в северных районах России необходимо осуществлять температурный мониторинг объектов с целью выявления и устранения аварийных ситуаций в районах вечномёрзлого грунта с помощью различных систем мониторинга температур.

В связи с этим ОАО НПП «Эталон» разработало системы мониторинга температур протяженных объектов (рис. 1), которые предназначены для полевого определения температуры грунтов согласно ГОСТ 25358-2012. Внедрение разработанных технических решений позволяет повысить точность измерений и надежность, упростить существующие системы мониторинга температур, расширить области их применения.



Рис. 1. Компоненты системы

Разработчики ОАО НПП «Эталон» предприняли попытку устранить недостатки известных систем мониторинга температур, таких как: сложность, дороговизна, низкая точность измерений и слабая герметичность, которая приводит к отказу устройств в условиях промышленной применяемости.

Архитектура разработанных измерительных систем очень гибкая и позволяет в зависимости от поставленной задачи осуществлять оперативный, автономный или непрерывный мониторинг температуры грунта под основаниями зданий и сооружений, вдоль земляного полотна железных дорог, тем самым обеспечивая работоспособность и безопасность функционирования объектов в условиях вечной мерзлоты.

Для проведения оперативных замеров используется комплект оборудования состоящий из контроллера ПКЦД-1/100 и термокосы МЦДТ 0922. ПКЦД-1/100 позволяет устойчиво считывать показания термокос с интервалом опроса от 10 секунд до 1 часа, а также сохранять информацию об измеренной температуре каждого датчика в термокосе в энергонезависимую память прибора. Термокоса МЦДТ 0922 обладает малой тепловой инерцией, кабель сохраняет гибкость при эксплуатации даже в условиях отрицательных температур.

Таким образом, пользователь может разместить на различных объектах (в термометрических скважинах) несколько десятков термокос и в течении 10...40 мин провести замеры, оценить результаты и сохранить данные с термокос о температуре каждого объекта с помощью одного контроллера ПКЦД-1/100 с последующей передачей и обработкой на ПК.

Для проведения автономных замеров температурных полей удаленных и труднодоступных объектов (термометрических скважин) используется комплект оборудования, состоящий из логгеров ЛЦД-1/100-СД и термокос МЦДТ 0922 или МЦДТ 1201. Логгер совместно с термокосой размещается в термометрической скважине ниже уровня земли и работает автономно в течение нескольких лет (рис.2.)

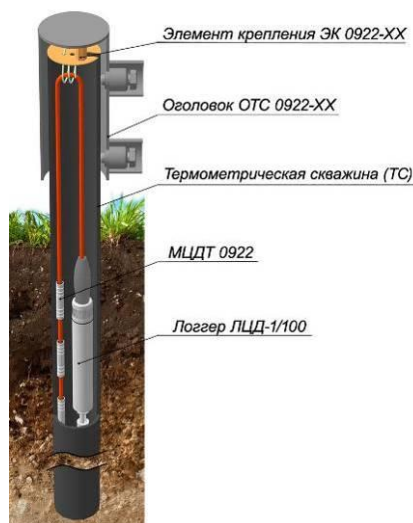


Рис. 2. Размещение в скважине термокосы с логгером

Измеренные значения температуры с термокосы записываются на карту памяти формата MicroSD, расположенную внутри логгера. Сбор данных проводится путем извлечения карты из логгера, либо ее заменой на новую, либо копированием файла с данными на ПК виде архива.

Время непрерывной работы логгера с термокосой без замены элемента питания зависит от количества одновременно подключаемых датчиков и периода проведения измерений. Например, при сохранении измерений два раза в сутки с термокосы, состоящей из 10 датчиков, логгер автономно без замены питания проработает около 10 лет.

Для решения задач непрерывного мониторинга температуры и оповещения об ее критических изменениях под зданиями и сооружениями, рекомендуется использовать систему СТМ ПО, представляющую собой совокупность контроллеров СКЦД-6/200, подключенных к распределительному блоку БРИЗ с использованием линии связи RS-485, и термокос МЦДТ 0922 и (или) МЦДТ 1201 (рис. 3). К каждому контроллеру можно подключить от одной до шести термокос, содержащих суммарно до 200 датчиков.

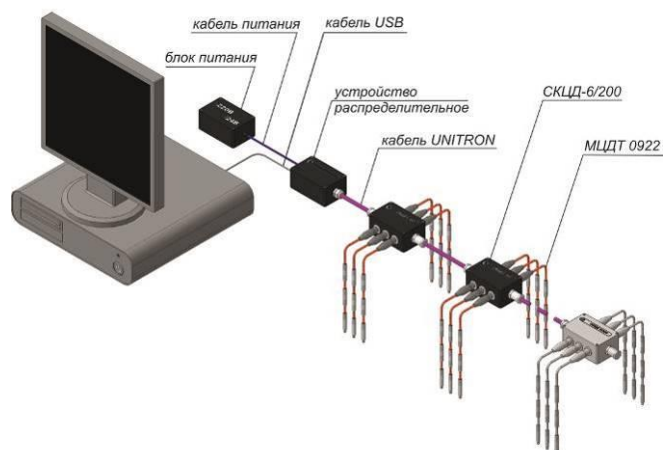


Рис. 3. Конфигурация стационарной системы

Порядок подключения термокос произвольный, контроллер сам определяет конфигурацию получившейся системы и проводит сканирование каналов для обнаружения подключения/отключения термокос с интервалом 5 секунд.

Связь между СТМ ПО и компьютером обеспечивается путем подключения БРИЗ к ПК при помощи кабеля интерфейсного USB. Информация об измеряемой температуре выводится на ПК с помощью специально разработанного программного обеспечения «VIPER» (рис. 4), позволяет в реальном времени отслеживать малейшие изменения температуры и сигнализировать, если ее величина превысила допустимую норму.

Таким образом, рассмотрев возможные варианты реализации мониторинга температуры грунтов, необходимо отметить, что совместно со специалистами Мерзлотной станции Центра ИССО ОАО РЖД в октябре 2012 г. организовано испытание трех комплектов автономного варианта системы мониторинга

температуры на объекте земляного полотна «Км 2339» перегона Курьян-Тында.

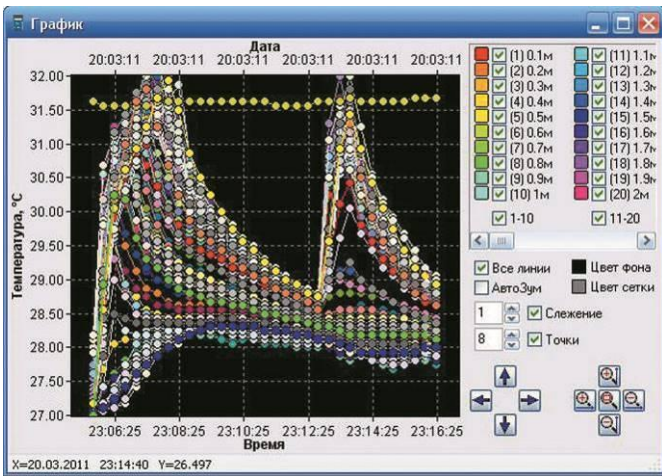


Рис. 4. Программное обеспечение «VIPER»

Температурный мониторинг объекта начал Мерзлотной станцией сразу после строительства охлаждающей скальной конструкции в 1991 г. Наблюдения за температурами грунтов выполняются два раза в год на моменты максимального оттаивания (осень) и максимального промерзания (весна).

В октябре 2012 г. в две скважины установлены логгеры ЛЦД-1/100-СД и термокосы МЦДТ 0922. Скважина № 6 расположена на правой бровке насыпи со скальной конструкцией на откосе (рис. 5), скважина № 9 находится в полевых ненарушенных условиях. Периодичность измерений температур логгерами – четыре раза в сутки.

Охлаждающая конструкция низкого качества (не выдержана крупность камня, большой процент содержания мелкозема)



Рис. 5. Погружение логгера и термокосы в скважину № 6, май 2013 г., «Км 2339» перегона Курьян-Тында

#### Анализ работы логгеров за годовой цикл показал:

- высокую точность и надежность приборов. За годовой период не зафиксировано ни одного сбоя. Сравнение температур, измеренных термокосами

Мерзлотной станции в 2011 г. и логгерами ЛЦД-1/100-СД с термокосами МЦДТ 0922 в 2012 г., на глубинах ниже глубины нулевых годовых колебаний температур показало:

- сходимость результатов измерения температур в пределах погрешности  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ;
- долгий срок автономной работы логгеров. За год падение напряжение литиевого элемента питания составило 0.1 В. Если скорость разрядки элемента питания сохранится, срок автономной работы без замены батареи составит не менее 8 лет.
- исключение ошибок измерений, обусловленных человеческим фактором. Таких как: опускание термокосы на разную глубину в различные годы, «недовыстойка», ошибки переноса данных в полевой журнал и т.д.

Непрерывные измерения температур с помощью логгера в связке с термокосой в течение годового цикла дали качественно новую информацию о температурном режиме объекта земляного полотна:

- определена фактическая глубина зоны нулевых годовых колебаний температур;
- получена информация о «плато» температур  $0^\circ\text{C}$  при замерзании и оттаивании грунта, что обусловлено фазовыми переходами воды в лед и обратно и свидетельствует о высокой влажности грунта;
- стало возможным вычислить среднегодовые температуры грунтов. Если среднегодовая температура на поверхности элемента земляного полотна отрицательная, деградация мерзлоты не происходит, а если температура  $0^\circ\text{C}$  и выше – происходит оттаивание многолетней мерзлоты. Эта информация позволяет определить эффективность любых охлаждающих мероприятий.

В нашем варианте системы мониторинга температуры на объекте земляного полотна «Км 2339» перегона Курьян-Тында:

- анализ среднегодовых температур показал, что в отдельной полевой скважине № 9 температуры грунтов понижаются, а в скважине № 6, где среднегодовая температура поверхности охлаждающей скальной конструкции составляет  $-1.4^\circ\text{C}$ , тогда как расчетная температура поверхности была  $-2.9^\circ\text{C}$ , что свидетельствует о низком качестве охлаждающей конструкции.

Прогиб эпюры среднегодовых температур грунтов в скважине № 6 на глубине 3 м говорит о фильтрации воды через тело насыпи небольшой интенсивности.

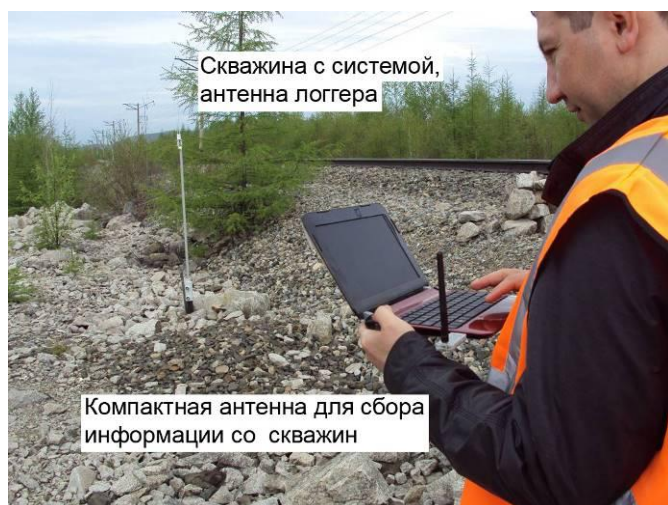
По результатам температурного мониторинга были сделаны определённые практические мероприятия по предотвращению деформаций насыпи.

Информация с логгеров ЛЦД-1/100-СД и термокос МЦДТ 0922 необходима для последующей оценки динамики изменения среднегодовой температуры грунтов с целью прогноза изменения температурного режима оснований сооружений, оценки эффективности охлаждающих мероприятий за один годовой цикл, корректировки исходных данных для повышения точности теплотехнических прогнозов и т. д.



Рис. 6. ЛЦД-1/100-PM

В мае 2014г. установлены в опытную эксплуатацию логгеры ЛЦД-1/100-PM (рис. 6), позволяющие уже без извлечения самих логгеров из скважин получать информацию о температурных режимах грунтов по беспроводной связи (рис. 7). Частоты передачи данных находятся в разрешённом диапазоне (434МГц), мощность также не высокая (10мВт), что не требует получения дополнительных разрешений. Время на переоборудование двух скважин (замена логгеров, установка усиленных оголовков с антеннами) составило порядка полутора часов. Устойчивая работа по передаче данных с логгеров на нетбук с помощью радиомодема (дальность связи) осуществлялась на расстоянии 1500 метров. Кроме этого разработано новое программное обеспечение «Radiomania» и также выложено на сайте ОАО НПП «Эталон».



Скважина с системой, антенна логгера

Компактная антенна для сбора информации со скважин

Рис. 7. Сбор информации с ЛЦД-1/100-PM

Аналогичная система температурного мониторинга установлена на поворотном круге станции Обская ООО «ГазпромТранс», г. Лабитнанги в октябре 2014г. (рис. 8) Там же получены предложения об оснащении передвижной матрицы подобным комплектом оборудования, для организации системы мониторинга непосредственно в движении.



Антенна логгера

Скважина с системой

Рис. 8. Поворотный круг станции Обская ООО «ГазпромТранс», г. Лабитнанги

На основе логгера ЛЦД-1/100-СД, преобразователей и датчиков теплового потока ДТП 0922 была разработана и поставлена на опытную эксплуатацию система измерения тепловых потоков в грунтах (рис. 9) на площадке Института Физико-Химических и Биологических проблем почвоведения г. Пушкино. Данная система эксплуатируется уже более полутора лет. Подобная система смонтирована осенью 2014г. в республике Саха-Якутия. Кроме этого, оборудование ОАО НПП «Эталон» для мониторинга позволяет использовать в качестве датчиков любые датчики с цифровым или аналоговым выходом (инклинометры, датчики уровня, влажности).



Рис. 9. Система измерения тепловых потоков в грунтах

Следует также отметить ОАО НПП «Эталон» является разработчиком и производителем эталонного метрологического оборудования для проверки всевозможных датчиков температуры, и готово оснастить метрологические лаборатории термометрии полными комплектами этого оборудования. Возможно также рассмотрение вопроса создания и оснащения мобильных термометрических лабораторий.

## Изменение соотношения географических элементов и набора биоморф высших растений под действием дефляции (Центральный Ямал)

К.А.Ермохина

Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Развеваемые песчаные отложения, приуроченные к возвышенным элементам рельефа, широко распространены в тундрах Центрального Ямала. Мозаичность растительного покрова определяется здесь микрорельефом, микроповышения являются очагами дефляции. В результате развития дефляции условно-коренные сообщества полигональной тундры начинают преобразовываться. Пороговым значением для начала дефляционного преобразования является 35% открытого незадернованного субстрата в пределах растительного сообщества. При увеличении площади открытого песка свыше 85% от площади сообществ пионерные растительные группировки разрушаются и на площадках отмечаются только единичные обособленные растения, чаще всего это виды – *Festuca rubra* subsp. *arctica*, *Rumex graminifolius* и *Equisetum arvense* subsp. *boreale*. Преобразование растительности находит отражение не только в структурных изменениях и снижении числа видов, слагающих растительные сообщества, но и в изменении соотношения географических элементов и набора биоморф ценофлоры песчаных приводораздельных поверхностей. Наиболее ярко развитие дефляции проявляется в изменении общего проективного покрытия и соотношения проективных покрытий ярусов сообществ, в динамике видового разнообразия и в изменении соотношения жизненных форм высших растений.

**Ключевые слова:** полигональные тундры; Центральный Ямал, сукцессия, дефляция

## Changes in Proportion of Geographical Elements and Life-Form Spectrum of Higher Plants Due to Deflation (Central Yamal)

K.A.Ermokhina

Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

Drift sand deposits of hill tops are widespread in Central Yamal. Mosaic structure of vegetation cover forms due to microrelief, hummocks are spots of deflation activation. Under the deflation press primary vegetation of polygonal tundra begins to transform. Threshold value for such transformation is a 35% of open sand within the boundaries of plant community. When area of open sand exceeds by 85% pioneer plant communities disintegrate and only sporadic isolated plants can be found (the most frequent are *Festuca rubra* subsp. *arctica*, *Rumex graminifolius* and *Equisetum arvense* subsp. *boreale*). Transformation of vegetation reflects not only in structure changes and decreasing of number of species in plant communities but also in changes in proportion of geographical elements and life-form spectrum of higher plants. Deflation activity manifests remarkably in changes of projective cover of communities layers, in dynamics of species diversity and in higher plants life-form spectrum.

**Key Words:** polygonal tundra; Central Yamal; succession; deflation

### Введение

Развеваемые песчаные отложения, приуроченные к возвышенным элементам рельефа, широко распространены в тундрах Центрального Ямала [Воскресенский 2001, Forman et al 2002, др.]. Дефляция затрагивает участки полигональных тундр, где в результате процессов эрозии, протекающих по канавкам протаивания повторно-жильных льдов, центральная часть полигонов оказывается достаточно выпуклой и, соответственно, подвергается более сильному промерзанию зимой из-за сдува снега, что в свою очередь приводит к изреживанию растительности, а следовательно, и к развитию дефляции [Геокриология СССР 1989].

Исследования динамики растительности под действием дефляции проводились на модельном участке в 5 км к

северо-западу от озера Халэвто (Центральный Ямал) в 2005 г. в составе финско-русской экспедиции, организованной Арктическим Центром Финляндии (Рованиemi). Данные, использованные в работе, собраны автором и к.б.н. С.Н. Эктовой (Институт экологии растений и животных УрО РАН). Всего было сделано 169 стандартных геоботанических описаний.

В окрестностях модельного участка с поверхности залегают комплекс верхнеплейстоцен-голоценовых элювиально-делювиальных отложений, представленных незасоленными песками и супесями, мощностью около 5 м, ниже залегают засоленные глинистые отложения морской террасы. Участки распространения этого комплекса отложений осложнены развитием повторно-жильных льдов и часто подвергаются действию дефляции. Приводораздельные поверхности имеют ярко выраженный полигональный рельеф.

Пространственная структура полигональных пятнисто-бугорковатых кустарничково-мохово-лишайниковых тундр, занимающих выпуклые приводораздельные поверхности, очень мозаична. Переходы между растительными сообществами различных стадий развеивания песчаных отложений плавные в начале действия дефляции и достаточно резкие при высокой степени развеянности субстрата. Вертикальная структура растительных сообществ простая – выделяется всего два сильно сближенных яруса, высшие растения часто имеют простратную форму. Особенности структуры растительного покрова приводораздельных поверхностей, активное участие видов, образующих латки и куртины, указывают на достаточно жесткие экологические условия существования.

Мозаичность растительного покрова песчаных отложений приводораздельных поверхностей определяется микрорельефом. Микроповышения являются миниатюрными очагами дефляции. Направление процесса дефляции можно определить по изменению общего проективного покрытия сообществ на разных формах микрорельефа. Если общее проективное покрытие сообществ в микропонижениях снижается, то это означает активизацию дефляции, а если общее проективное покрытие растет, то можно констатировать закрепление песчаного субстрата.

В результате развития дефляции условно-коренные сообщества полигональной тундры начинают преобразовываться. Пороговым значением для начала дефляционного преобразования является 35% открытого незадернованного субстрата в пределах растительного сообщества. При увеличении площади открытого песка свыше 85% от площади сообществ пионерные растительные группировки разрушаются и на площадках отмечаются только единичные обособленные растения, чаще всего это виды – *Festuca rubra* subsp. *arctica*, *Rumex graminifolius* и *Equisetum arvense* subsp. *boreale*.

Формирующийся под действием дефляции эколого-динамический ряд растительности и его особенности описаны в статьях [Ермохина 2008, Ермохина и Мяло 2012а, Эктова и Ермохина 2012], данные, касающиеся структуры растительности можно найти в [Ермохина и Мяло 2012b]. Географические элементы и биоморфы высших растений приняты нами по работе Н.И. Секретаревой [2004].

## Результаты

Видовая насыщенность растительных сообществ практически линейно снижается по мере развития дефляции. Видовое богатство на начальных стадиях дефляции повышается за счет вселения, в основном, случайных видов, а потом закономерно снижается, т.к. большинство из них не выдерживают конкурентных взаимоотношений за сокращающееся количество экологических ниш и возрастающего пресса дефляции.

Доля высших видов арктической фракции колеблется от 36% (финальная стадия сукцессии) до 63% (промежуточные стадии), доля гипоарктической фракции составляет от 17% (промежуточные стадии) до 54% (финальная стадия), а участие видов бореальной фракции изменяется от 11% до 26%, не имея четкого тренда по стадиям дигрессии. По мере развития сукцессии четко прослеживается увеличение участия гипоарктической группы видов высших растений (рис. 1), что, по-видимому, связано с происходящими нарушениями структуры растительных сообществ, позволяющими проникать сюда видам более южного распространения. Противоположным характером динамики участия обладают арктоальпийские (коэффициент корреляции составляет  $-0,66$ ), метаарктические (коэффициент корреляции  $-0,70$ ) и бореальные (коэффициент корреляции  $-0,72$ ) виды.

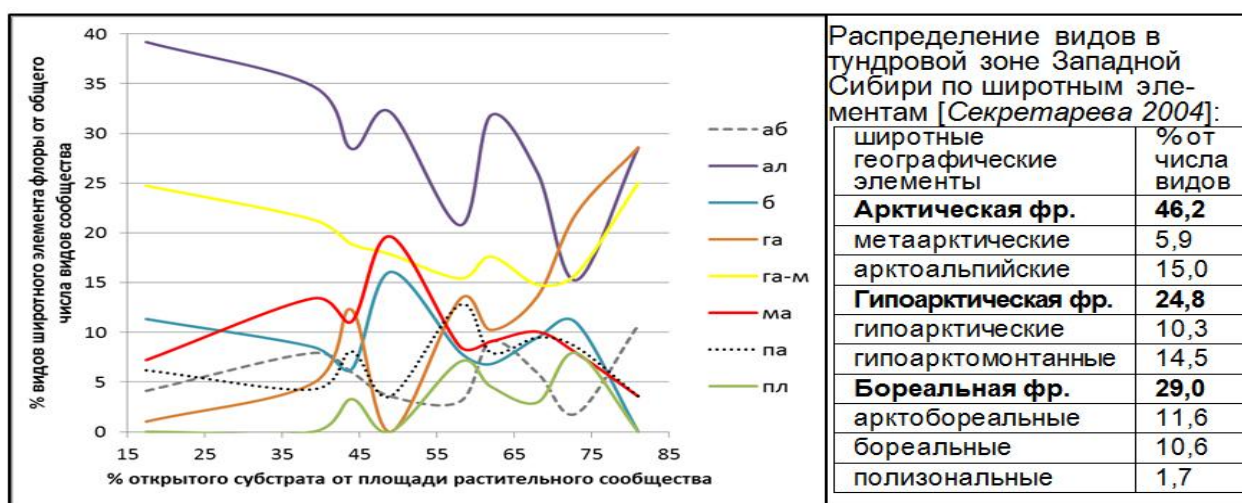


Рис. 1. Изменение соотношения основных широтных элементов флоры высших растений под действием дефляции (условные обозначения – на диаграмме (группы видов): аб – арктобореальные виды; ал – арктоальпийские виды; б – бореальные виды; га – гипоарктические виды; га-м – гипоарктомонтанные виды; ма – метаарктические виды; па – преимущественно арктические виды, заходящие в субарктические высокогорья; пл – полизоальные виды; в таблице: «фр.» – фракция)

Значительную роль в сложении сообществ играют гипоарктомонтанные виды, чье присутствие в тундре связано с несомкнутыми растительными сообществами и часто с динамичными субстратами. Их доля колеблется около 20%, имея минимум на промежуточных стадиях сукцессии. Доля остальных широтных групп флоры высших растений обычно ни на одной стадии не превышает 10%.

Доля евразийских видов составляет 29–46% (максимум приходится на промежуточные стадии дигрессии), доля азиатско-американских видов – 7–21% (на промежуточных стадиях, наоборот, минимум), а доля видов с циркумареалами – 45–59% (тренд не выявлен). Большинство видов высших растений относится к циркумполярной группе (рис. 2). Их доля в общем списке

видов высших растений обычно составляет 25–35% и значительно увеличивается на финальной стадии дефляционной сукцессии. Группа евразийско-западноамериканских видов также повышает свою роль в сложении растительных сообществ на финальной стадии, то не столь значительно. Вторым по количеству видов комплексом является циркумбореальный, чье участие в сложении синтаксонов колеблется около 10–15%, на финальной стадии сукцессии циркумбореальные виды полностью выпадают из сообществ. Колебания долевого участия других долготных элементов флоры высших растений невелико и редко превышает 10%. Многие группы видов выпадают на финальной стадии сукцессионных смен растительных сообществ под действием дефляции.

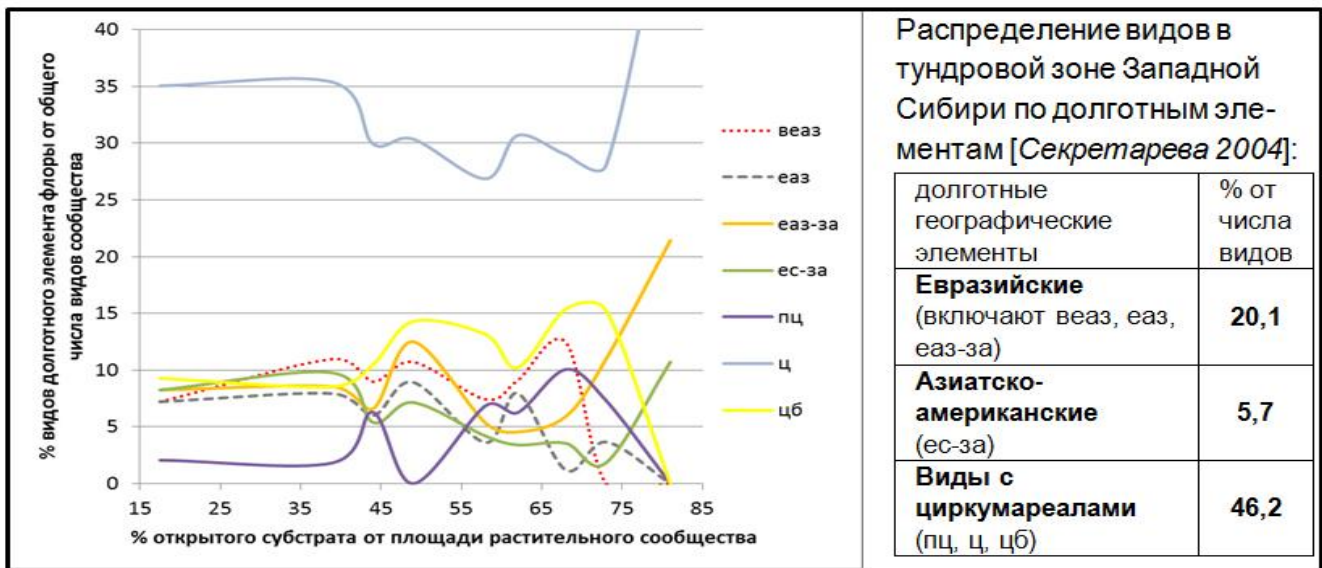


Рис.2. Изменение соотношения основных долготных элементов флоры высших растений под действием дефляции (условные обозначения: вез – восточноевроазиатские виды, не заходящие в западную Европу; еаз – собственно евразийские виды, распространенные на всей территории Евразии; еаз-за – евразийско-западноамериканские виды; ес-за – сибирско-западноамериканские виды, заходящие на северо-восток европейской части России; пц – почти циркумполярные (с некоторыми дизъюнкциями, чаще в континентальных секторах); ц – циркумполярные виды; цб – циркумбореальные виды)

В целом, смена географических комплексов видов высших растений в ходе сукцессии связана с увеличением участия видов, чья жизненная стратегия более эксплерентна, что позволяет им занимать нарушенные участки. Пресс дефляции на финальных стадиях сукцессии заставляет выпадать виды, чей ценофитический оптимум лежит в более южных районах.

Под действием дефляции, в ходе сукцессионных смен, происходят значительные изменения соотношения жизненных форм высших растений (рис. 3). Кустарнички выпадают из растительных сообществ с увеличением пресса дефляционного процесса, многие группы полностью исчезают уже на промежуточных стадиях сукцессии. Наиболее долго в состав сообществ входят простратные формы кустарничков как более приспособленные к жестким условиям среды.

Характер корневой системы поликарпических трав играет ключевую роль при освоении динамичных субстратов. Большинство поликарпических трав, в

отличие от кустарничков, увеличивает свое участие в растительных сообществах в ходе дефляционной сукцессии, наиболее успешными являются длиннокорневищные формы (*Equisetum arvense* subsp. *boreale*, *Tanacetum bipinnatum*, *Festuca rubra* subsp. *arctica* и др.).

Стержнекорневые травы характерны для промежуточных стадий сукцессии (*Armeria maritima*, *Artemisia borealis*, *Oxytropis sordida* и др.). На финальной стадии дигрессии наблюдается снижение количества стержнекорневых форм и полное выпадение из сообществ короткорневищных травянистых растений (*Antennaria lanata*, *Tephrosieris atropurpurea* и др.).

Таким образом, преобразование растительности находит отражение не только в структурных изменениях и снижении числа видов, слагающих растительные сообщества, но и в изменении соотношения географических элементов и набора биоморф ценофлоры песчаных приводораздельных поверхностей. Наиболее

яркое развитие дефляции проявляется в изменении общего проективного покрытия и соотношения проективных покрытий ярусов сообществ, в динамике видового разнообразия и в изменении соотношения жизненных форм высших растений.

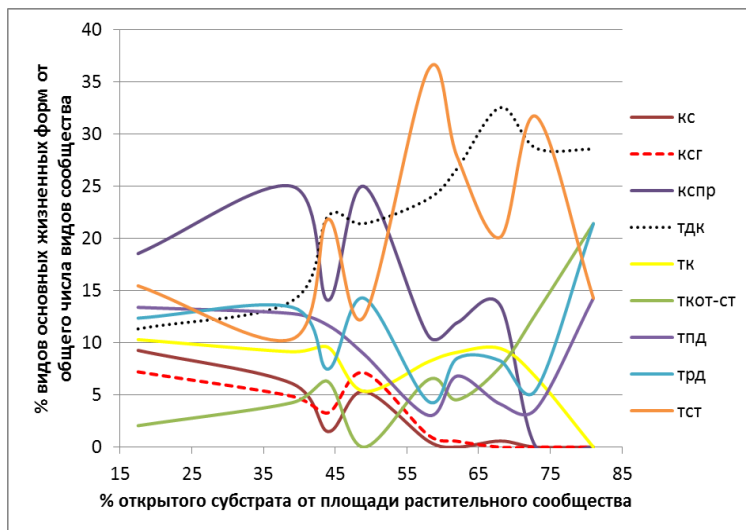


Рис. 3. Изменение соотношения основных жизненных форм высших растений под действием дефляции (условные обозначения: кс – прямостоячие кустарнички; ксг – гемипростратные кустарнички; кспр – простратные кустарнички; тдк – длиннокорневищные поликарпические травы; тк – короткорневищные поликарпические травы; ткот-ст – корнеотпрысково-стержнекорневищные поликарпические травы; тпд – плотнoderновинные поликарпические травы; трд – рыхлoderновинные поликарпические травы с короткоползучими корневищами; тст – стержнекорневые поликарпические травы)

## Литература

- Воскресенский К.С. 2001. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России, – М.: изд-во географ. ф-та МГУ, 2001, 262 с. (на русском языке)
- Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова, – М.: Недра, 1989, 454 с. (на русском языке)
- Ермохина К.А. 2008. Фитоиндикация стадий развейивания песчаных отложений водоразделов в типичных тундрах Ямала // Проблемы региональной экологии. – М.: Камертон, 2008. Вып. 6. С. 78-84. (на русском языке)
- Ермохина К.А., Мяло Е.Г. 2012а. Фитоиндикационные признаки дефляции на Центральном Ямале // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – М., 2012. № 4. С. 33-39. (на русском языке)
- Ермохина К.А., Мяло Е.Г. 2012б. Влияние дефляции на растительный покров Центрального Ямала // Вопросы географии. – М., 2012. Т. 134: Актуальная биогеография. С. 328-344. (на русском языке)
- Секретарева Н.С. 2004. Сосудистые растения Российской Арктики и сопредельных территорий, – М.: тов. науч. изд. КМК, 2004, 131 с. (на русском языке)
- Эктова С.Н., Ермохина К.А. 2012. Растительность песчаных обнажений северных субарктических тундр Центрального Ямала // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1-5. С. 1412-1415. (на русском языке)
- Forman S., Ingolfsson O., Gataullin V., Manley W., Lokrantz H. 2002. Late Quaternary Stratigraphy, Glacial Limits, and Paleoenvironments of the Marresale Area, Western Yamal Peninsula, Russia // Quaternary Research vol. 57, 2002, pp. 355 – 370





## Тонкие проводящие слои в мерзлых толщах

В.Н.Ефремов

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН*

### Реферат

Представлены теоретические предпосылки и экспериментальное подтверждение наличия тонких проводящих слоев (ТПС) в мерзлых толщах. Показано, что наличие ТПС в мерзлоте проявляется осцилляцией значений поверхностного импеданса в диапазоне 1-100000 кГц. При этом на частотах ниже 1000 кГц модуль поверхностного импеданса снижается, а его фаза увеличивается. ТПС в мерзлых толщах представлен тальми и водоносными горизонтами, тонкодисперсными и засоленными отложениями, глинами и суглинками, незамерзающими при малых отрицательных температурах. Эффект ТПС в мерзлой толще позволяет легко обнаружить подобные образования и определить параметры их залегания с помощью радиоимпедансного зондирования и радиоманнитотеллурического зондирования.

**Ключевые слова:** мерзлота; тонкий проводящий слой; поверхностный импеданс; зондирование.

## Thin Conductive Layers in Permafrost

V.N.Efremov

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS*

### Abstract

In this paper it is presented the theoretical background and experimental confirmation for the presence of thin conductive layers (TCL) in permafrost. The presence of TCL in permafrost is manifested by the oscillation of surface impedance in the range of 1...100 000 kHz. At frequencies below of 1000 kHz, the module of surface impedance is reduced, while its phase is increased. TCLs in permafrost are represented by thawed and water-bearing horizons, as well as by very fine and saline sediments, clays and silty clays that remain unfrozen at slightly subzero temperatures. The TCL effect allows easy detection of such formations in permafrost and can be used to determine their occurrences with radioimpedance sounding and radiomagnetotelluric sounding.

**Key Words:** permafrost; thin conductive layers; surface impedance; sounding.

В настоящее время из среднечастотных методов электроразведки в криолитозоне используются такие, как радиоклип или РЭМП, ДЭМП или ДЭМЗ, радиоманнитотеллурическое зондирование (РМТ) [Tezkan & Saraev 2008] или радиоимпедансное зондирование (РИЗ) [Ефремов 2013]. Применяя указанные методы в криолитозоне, геофизики неизбежно сталкиваются на некоторых участках с неожиданно весьма низким для мерзлых пород эффективным электрическим сопротивлением их массивов, значения которого меньше 100 Ом·м. Казалось бы, такие значения более характерны для талых пород и никак не соответствуют мерзлым. Однако подобные факты имеют место, а наличие их может иметь и практическое значение для рационального использования.

Впервые наличие проводящих слоев в мерзлой толще было установлено нами при изучении условий распространения земных радиоволн над подстилающей средой, составленной мерзлыми толщами. Тогда было отмечено, что при распространении над ними, по отдельным трассам, радиоволны испытывают намного меньшее поглощение, чем то, которое ожидалось по прогнозным теоретическим расчетам. Расчеты проводились на основе геоэлектрических параметров, полученных вертикальным электрическим зондированием на постоянном токе (ВЭЗ). Уже первые

результаты сопоставления данных измерений поверхностного импеданса мерзлых толщ в диапазоне частот 10-1000 кГц с его значениями, рассчитанными по параметрам геоэлектрического строения, полученным зондированием на постоянном токе, показали их значительное расхождение. Измеренная величина модуля импеданса, полученная для различных типов пород, была значительно меньше расчетной, а значения фазы импеданса, соответственно, намного больше. Тогда было высказано предположение, которое связывает пониженные значения модуля импеданса и эффективного сопротивления, а также повышенный фазовый сдвиг с наличием в мерзлых дисперсных отложениях тонких проводящих слоев, не выделяемых при интерпретации данных ВЭЗ [Ефремов 1995].

Справедливость выдвинутого объяснения подтверждается расчетами прогноза модуля функции ослабления радиоволн, выполненными по данным измерений поверхностного импеданса. Полученная в данном случае хорошая сходимости прогнозных и фактических значений модуля функции ослабления подтвердила более высокую эффективность измерений поверхностного импеданса для изучения электрических свойств мерзлых толщ в радиоволновом диапазоне, по сравнению с расчетами по результатам ВЭЗ [Ефремов 2003].

Чтобы уточнить степень влияния тонких проводящих слоев на поверхностный импеданс мерзлых толщ, нами было проведено численное моделирование частотной зависимости поверхностного импеданса на основе типовых геоэлектрических разрезов. При моделировании тонкие проводящие слои внедрялись в геоэлектрический разрез, в соответствии с существующими представлениями о параметрах залегания таких проводящих объектов в мерзлой толще, как сезонноталый слой, межмерзлотные талики, криопэги, водоносные горизонты, глинистые и засоленные отложения. Параметры среды задавались в соответствии с геоэлектрическими параметрами основных горизонтов мерзлой толщи, расположенных по глубине в следующей последовательности: сезонноталый слой рыхлых отложений (СТС); мерзлые рыхлые отложения (МРО); мерзлые коренные породы (МКП); талые коренные породы (ТКП). Тонкие проводящие слои, как промежуточные, внедрялись с различными параметрами залегания в горизонт МРО. Функциональная зависимость поверхностного импеданса слоистой мерзлой толщи, выражающаяся рекуррентным соотношением, рассчитывалась в строгой форме, с учетом токов смещения. Полученные в результате расчетов данные позволили проанализировать, оценить и показать графически характер и пределы изменений частотной зависимости поверхностного импеданса.

Влияние подобных слоев в той или иной степени прослеживается во всем диапазоне частот от 1 кГц до 100 МГц. Выражается оно в осцилляции значений, имеющей различную амплитуду и период, в зависимости от частоты и соответствующего ей соотношения токов проводимости и смещения в слоистой толще. Так, например, наличие межмерзлотного талика мощностью 2 м на глубине 4 м в мерзлых рыхлых отложениях, подстилаемых на глубине 20 м мерзлыми коренными породами, приводит к значительному прогибу частотной кривой модуля поверхностного импеданса в диапазоне 10-1000 кГц и резкому возрастанию значений его фазы в этом диапазоне (Рис. 1). Наличие сезонноталого слоя мощностью 1 м снижает амплитуду осцилляций модуля и фазы поверхностного импеданса. Соответственно, уменьшается степень прогиба частотной кривой модуля импеданса и возрастания его фазы со сдвигом экстремума в область более низких частот.

Таким образом, судить о наличии тонкого проводящего слоя в разрезе можно по крутому углу наклона частотной кривой модуля поверхностного импеданса, превышающему  $23^\circ$  в двойном логарифмическом масштабе, и по резкому изменению аргумента (фазы) поверхностного импеданса, вызванному осцилляцией значений.

Осцилляции значений частотной зависимости поверхностного импеданса появляются тогда, когда в верхнем слое преобладают токи смещения [Булгаков, Рысаков, 1962; Рысаков, Андреев, 1962], а в нижнем, как показало численное моделирование, преобладают токи

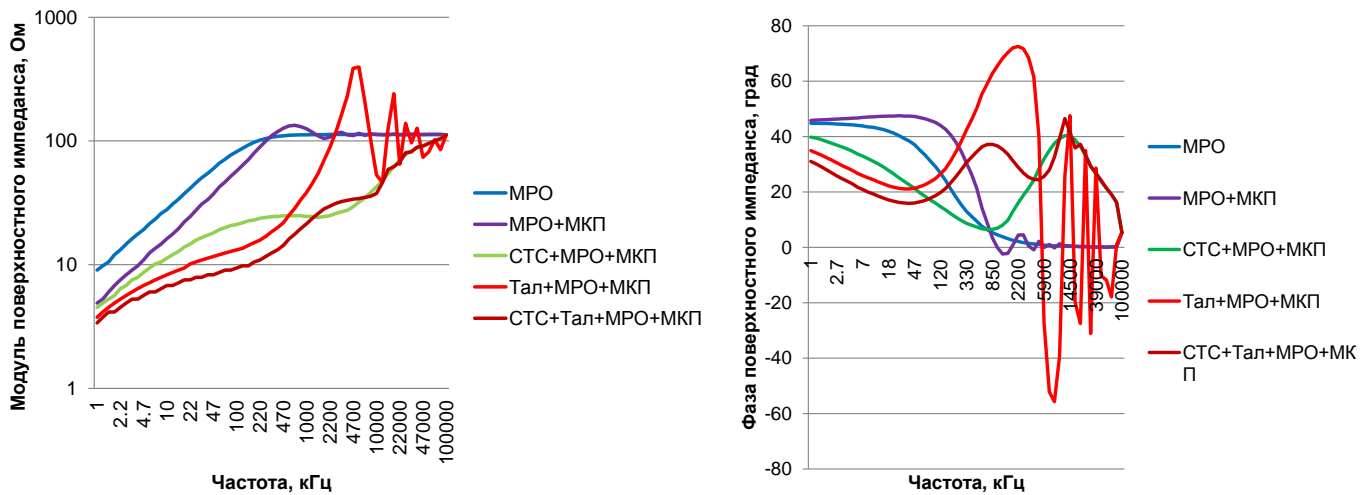
проводимости. Для мерзлых толщ, это условие вполне выполнимо, если геоэлектрические разрезы представлены типами Н и Q с высоким удельным электрическим сопротивлением (УЭС) верхнего слоя МРО достаточной мощности.

Частотная зависимость поверхностного импеданса осциллирует с большей или меньшей амплитудой и периодом, в зависимости от параметров слоев, во многих вариантах модели мерзлой толщи. Появлению осцилляций способствуют следующие факторы: значительная мощность ( $>20$  м) горизонта МРО, при его УЭС много больше, чем УЭС МКП; высокое УЭС ( $>1000$  Ом·м) горизонта МКП, много большее, чем УЭС подстилающего горизонта талых пород; наличие промежуточного тонкого проводящего слоя с УЭС  $<100$  Ом·м в горизонте МРО, имеющем высокое УЭС ( $>1000$  Ом·м).

Эффект тонкого проводящего слоя (ТПС) проявляется: в двухслойной модели мерзлой толщи – в результате наложения плохопроводящего слоя МРО значительной мощности на горизонт относительно проводящих МКП; в трехслойной модели – внедрением ТПС в МРО; в четырехслойной модели – внедрением ТПС в МРО при наличии сверху сезонноталого слоя.

Полевые измерения поверхностного импеданса производились на характерных участках с известным геолого-геокриологическим строением и по исследуемому региону на частотах удаленных широкополосных радиостанций, радиоприводов аэропортов и радиостанций точного времени в диапазоне 10-900 кГц. При проведении региональных работ пункты измерений выбирались так, чтобы получить репрезентативные данные о поверхностном импедансе на участках, представленных основными типами геолого-геокриологического строения и ландшафтных условий исследуемой территории. Основная часть измерений выполнена вдоль автомобильных трасс с выходом на характерные по ландшафту, для данной местности, участки. Участки располагались с интервалом 7 км по трассе. На участке выполнялись зондирования в нескольких точках (4 и более) по профилю. На каждой точке зондирования, на каждой частоте измерения выполнялись при ориентации магнитной рамочной антенны и незаземленной электрической приемной линии строго по пеленгу на радиостанцию.

Влияние ТПС проиллюстрируем частотными кривыми радиоимпедансного зондирования (рис.2), которые были получены на экспериментальных площадках, расположенных на расстоянии 200 м в сосновом бору и на обширной поляне. Площадки имеют сходное геологическое строение, но отличаются ландшафтными и геокриологическими условиями. Мерзлые дисперсные отложения мощностью порядка тридцати метров сложены в основном песками и супесями с прослоями суглинков и глин.



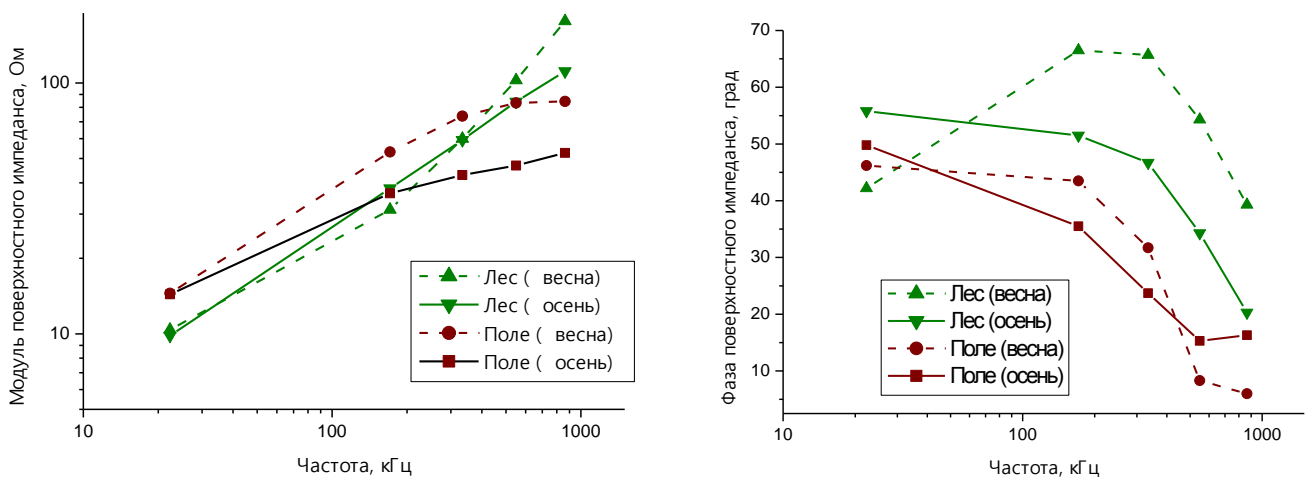
**Рис. 1.** Результаты численного моделирования частотных зависимостей модуля и фазы поверхностного импеданса мерзлой толщи с тонким проводящим слоем в виде межмерзлотного талика.

Мерзлые рыхлые отложения (МРО):  $h = 20$  м;  $\rho = 10000$  Ом·м

Мерзлые коренные породы (МКП):  $\rho = 3000$  Ом·м; глубина залегания 20 м.

Межмерзлотный талик (Тал):  $h = 2$  м;  $\rho = 30$  Ом·м, глубина залегания 4 м.

Сезонноталый слой (СТС):  $h = 1$  м;  $\rho = 30$  Ом·м.



**Рис. 2.** Частотные кривые радиоимпедансного зондирования в лесу и на поляне в разное время года.

Здесь, на лесной площадке, при еще не оттаявшем весной сезонноталом слое, частотная кривая модуля поверхностного импеданса имеет крутой наклон на высоких и средних частотах диапазона, характерный для разреза с ТПС на глубине 26 м (по результатам интерпретации РИЗ). Крутизна снижается к осени под влиянием компенсирующего действия протаявшего СТС. Весенняя частотная кривая аргумента (фазы) импеданса имеет максимум в области средних частот, указывающий на наличие ТПС, который, с развитием СТС, смещается, растягиваясь в область низких частот.

В отличие от кривых, полученных в лесу, кривые модуля и фазы поверхностного импеданса на поляне не

указывают на явное наличие здесь тонкого проводящего слоя в многолетнемерзлых дисперсных отложениях.

По результатам статистического анализа данных радиоимпедансных зондирований в Центральной Якутии, исследуемый регион разделяется р. Ленной на две области – восточную и западную с характерными значениями параметров поверхностного импеданса, которые соответствуют различному происхождению дисперсных отложений данных областей [Ефремов 2013]. Для восточной области это преимущественно делювиальные отложения, а для западной – аллювиальные.

Средние значения фазы поверхностного импеданса в СДВ диапазоне имеют сильно-индуктивный характер (фазовый угол больше  $45^\circ$ ) в обеих областях, но в восточной – в меньшей степени. Это только отчасти, для восточной области, может быть объяснено пониженным УЭС горизонта мерзлых коренных пород по сравнению с УЭС горизонта мерзлых дисперсных отложений. В западной области отличительно значимый сильно-индуктивный характер имеют средние значения фазы поверхностного импеданса в СДВ и ДВ диапазонах, а также ее модальное значение в СВ диапазоне. Объяснением этому может быть наличие проводящего слоя в дисперсных отложениях данной области на сравнительно небольшой глубине. В обеих областях средние и модальные значения фазы импеданса достаточно близки, т.е. число выбросов мало. Встречающиеся в восточной области значения фазы импеданса в СДВ диапазоне, превышающие  $45^\circ$ , указывают на наличие на отдельных участках тонкого проводящего слоя в подошве дисперсных отложений, характерное для геоэлектрических разрезов типа К.

В западной области низкие медианные значения эффективного сопротивления, уменьшающиеся с понижением частоты, в сочетании с большими средними значениями фазы и повышенными модальными значениями фазы указывают на наличие тонкого проводящего слоя на малой глубине в дисперсных отложениях. Это подтверждается и вдвое меньшей здесь величиной толщины скин-слоя на низких частотах.

Поскольку тонкими проводящими слоями (ТПС) в мерзлых рыхлых отложениях являются образования и отложения с намного более низкими значениями УЭС, чем у вмещающей толщи, то, в силу очевидности этого факта, к ТПС в первую очередь относим засоленные отложения и криопэги, надмерзлотные и межмерзлотные талики, водоносные горизонты. Однако, согласно проведенным исследованиям, ТПС по распространенности наиболее представлены тонкодисперсными глинистыми и суглинистыми отложениями. При малых отрицательных температурах грунтов эти отложения находятся в талом или пластично-мерзлом состоянии и имеют пониженное значение УЭС. Протяженность ТПС, представленных тонкодисперсными глинистыми и суглинистыми отложениями, может быть весьма значительной. Так максимальная протяженность ТПС, прослеженная нами по результатам радиоимпедансного зондирования, составила 32 км.

Некоторая часть тонких проводящих слоев может быть представлена отложениями аллювиально-болотного и органического происхождения. Подобные отложения в многолетнемерзлом грунте могут иметь значительное количество незамерзшей воды, зависящее от степени разложения органики [Ершов и др. 1987].

В целом тонкие проводящие слои в многолетнемерзлых грунтах разделены нами на следующие типы [Ефремов 2006]:

- температурно-влажностные (надмерзлотные и межмерзлотные талики, водоносные слои);

- минерализованные (засоленные отложения и криопэги);
- температурно-гранулометрические (тонкодисперсные глинистые и суглинистые отложения);
- органогенные (илы, торф и отложения с растительными остатками).

Глубина залегания и мощность обнаруженных ТПС, в зависимости от геокриологических и геологических условий, находится в диапазоне от долей и единиц метра – для засоленных отложений, надмерзлотных таликов и криопэгов, до единиц и десятков метров – для тонкодисперсных отложений. Значения УЭС ТПС находится в пределах от единиц Ом·м – для засоленных отложений и криопэгов, до десятков Ом·м – для таликов и тонкодисперсных отложений.

Наличие эффекта тонкого проводящего слоя в мерзлой толще позволяет легко обнаружить подобные образования в криолитозоне и оценить параметры их залегания с помощью технологии радиоимпедансного зондирования мерзлых грунтов и метода РМТ.

## Литература

- Булгаков А.К., Рысаков В.М. О возможности применения электромагнитных колебаний высокой частоты в разведочной геофизике // Проблемы дифракции и распространения волн. Вып.1 / Под ред. Макарова Г.И. Л.: 1962. С. 143-150.
- Ершов Э.Д., Данилов И.Д., Чевеверев Е.Г. Петрография мерзлых пород. – М.: изд-во МГУ, 1987. – 311 с.
- Ефремов В.Н. Поверхностный импеданс криолитозоны на радиочастотах // Геофизические исследования в Якутии. – Якутск: Изд-во Якутского государственного университета, 1995. – С. 70-80.
- Ефремов В.Н. Электрические характеристики грунтов Центральной Якутии в поле радиоволн. Итоги геокриологических исследований в Якутии в XX веке. Перспективы дальнейшего развития / В. Н. Ефремов; под ред. В. В. Шепелева. – Якутск, 2003. – С. 150–167.
- Ефремов В.Н. О возможности использования тонких проводящих слоев в многолетнемерзлом грунте для рационального выполнения заземлений // Электрические станции. – №1, 2006. – С.62-64.
- Ефремов В.Н. Радиоимпедансное зондирование мерзлых грунтов. – Якутск: Изд-во ФГБУН Ин-т мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2013. – 204 с.
- Рысаков В.М., Андреев В.С. Экспериментальное исследование поверхностных импедансов в диапазоне 1,5-10 МГц // Проблемы дифракции и распространения волн. Вып. 2. – Л.: изд-во ЛГУ, 1962. – С. 212-21.
- Tezkan B., Saraev A. A new broadband radiomagnetotelluric instrument: applications to near surface investigations. // Near Surface Geophysics, 2008, Vol. 6, No 4. P.245-252.

## Влияние инфильтрации летних атмосферных осадков на температурный режим грунтов

А.Ф.Жирков, М.Н.Железняк

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН), г. Якутск*  
zhirkov\_af@mail.ru, fe@mpi.ysn.ru

### Реферат

Температура любой среды является функцией ее теплового состояния, определяемого внутренними и внешними источниками энергии и свойствами вещества. Внутриземный поток тепла практически не зависит от поверхностных условий, состава и свойств пород, стабилен во времени. Его величина определяется количеством генерируемой внутри Земли тепловой энергии. Внешним источником тепла служит поступающая на поверхность Земли солнечная радиация. Это основной источник энергии, обеспечивающий протекание природных процессов на поверхности земли, в деятельном слое, в атмосфере и гидросфере [Общее мерзлотоведение 1959]. Даже в суровых климатических условиях при среднегодовой температуре воздуха  $-6^{\circ}\text{C}$  и ниже существуют отдельные массивы, где температура пород имеет положительные значения. Для объяснения подобных явлений необходимо изучение роли природных факторов определяющих формирование температурного режима грунтов.

**Ключевые слова:** температурный режим грунтов, инфильтрация осадков, деятельный слой.

### Summer Precipitation Influence upon Ground Temperature

A.F.Zhirkov M.N.Zheleznyak

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*

### Abstract

Temperature of any medium is a function of its thermal state which is governed by internal and external energy sources, as well as by material properties. Interior heat flow is virtually independent of surface conditions or rock composition and properties, and is stable in time. The heat flow density is determined by the amount of thermal energy generated in the Earth's interior. Incoming solar radiation is an external source of heat. It provides the main source of energy that drives the natural processes occurring on the earth surface, as well as in the atmosphere and hydrosphere. Along with the interior heat flow, solar radiation determines the Earth's surface energy balance. Thus, for example, extremely cold areas with a mean annual air temperature as low as  $-6^{\circ}\text{C}$  have locations with ground temperatures above  $0^{\circ}\text{C}$ . To explain such phenomena, this study aims to examine the main natural factors controlling the ground temperature regime.

**Key words:** ground temperature regime, infiltration, active layer.

### Введение

Роль влияния природных факторов на формирование геотемпературного поля весьма существенна. В деятельном слое теплообменные процессы в значительной степени обусловлены циркуляцией приземного воздуха, количеством атмосферных осадков, свойствами и характеристиками грунта и температурой подстилающих грунтов. Важным фактором формирования теплового режима грунтов являются осадки, как твердые – в виде снега, так и жидкие - в виде дождя, однако роль последних до настоящего времени слабо изучена.

При движении воды в грунтах деятельного слоя процессы теплопереноса требуют тщательного изучения и анализа взаимосвязи теплообмена твердых и жидких составляющих. Вода, фильтрующаяся с поверхности, в основном, направлена вниз под действием гравитации. В криолитозоне с направлением движения воды совпадает передача тепла от поверхности до границы раздела талых

и мерзлых пород. Поэтому обычная кондуктивная передача тепла в грунтах сопровождается теплотой, передаваемой породам из осадков с учетом их температуры на поверхности.

Еще в XIX столетии была замечена прямая связь оттаивания мерзлых горных пород с количеством атмосферных осадков [Веселов 1958]. В дождливые годы мерзлые толщи протаивают на большую глубину, чем в сухие, песчаные отложения протаивают глубже глинистых и т.п. Последующие исследования подтвердили это наблюдение, что повлекло необходимость учитывать наряду с теплопроводностью перенос тепла поверхностными водами в грунтах.

Одними из первых опытов управления процессами оттаивания мерзлых горных пород, а именно экспериментального опробования дождевально-инфильтрационного метода выполнялись в Восточном Забайкалье сотрудниками Нигризолото. В 1955-56 годах на дражных полигонах Магаданской области проводилось дождевание оборотной водой песчано-

галечниковых отложений с целью практической проверки эффективности метода [Веселов 1958, Гольдтман 1956а, 1956а, 1958].

Теоретические обоснования этих процессов позднее были изложены в работах В.Т.Балобаева [1965]; В.А. Кудрявцева [Достовалов Кудрявцев 1967, Кудрявцев 1967]; Г.М. Фельдмана [1977]; Г. З. Перлыштейна, [1979, 1968]; Б. А. Оловина [Оловин 1993, Павлов Оловин 1975] и др., которые в своих моделях допускали, что водопроницаемые горные породы однородны. При этом они полагали, что гидродинамический режим движения воды является установившимся. Однако, в их расчетах не учитывалось испарение с поверхности почвы (эвапотранспирация), а также конденсация водяных паров и другие факторы, которые имеют существенное значение.

Экспериментальные данные влияния инфильтрации летних осадков на температурный режим грунтов в естественных условиях отсутствуют, вследствие этого, авторами настоящей статьи поставлена цель – экспериментально получить количественную оценку влияния инфильтрации летних атмосферных осадков на температурный режим песчаных грунтов.

### Характеристика эксперимента

Для осуществления данных исследований, на научном полигоне «Туймаада» Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН авторами оборудованы две наблюдательные площадки (рис. 1) размером 3×3 метра, огороженные с боковых сторон (до глубины 120 см) цельными листами пищевого металла, для противодействия утечки воды по горизонтали.

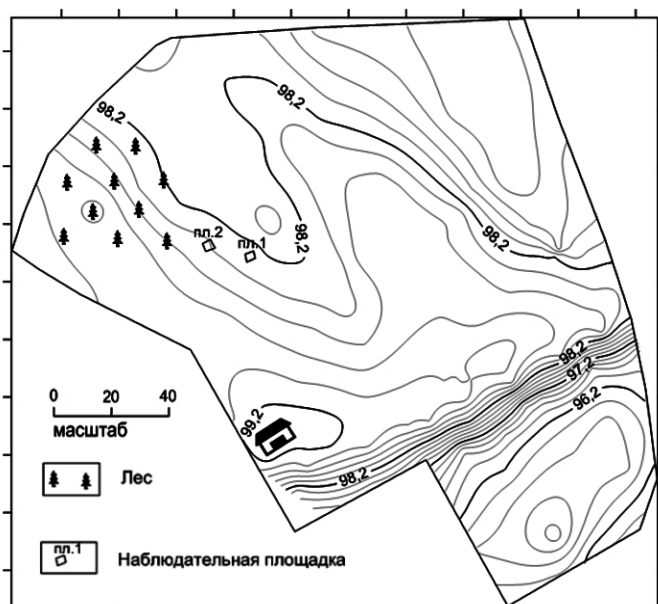


Рис. 1. Схема научно-экспериментального полигона «Туймаада», пл. 1 и пл. 2 – экспериментальные участки.

Оба участка покрыты почвенно-растительным слоем, представленным разнотравьем. На этих площадках

пробурены по 2 скважины глубиной 2 и 5 метров, в которых установлены автоматизированные (логгеры) и механические (терморезисторов) системы наблюдения для исследования термовлажностного состояния грунтов. С помощью логгеров автоматически (с интервалом от 2 до 4 часов) измеряется температура грунтов в сезонном слое, а с помощью терморезисторов (ежедневно в 15 часов) на фиксированных глубинах (1, 2, 3, 4, 5м) измеряется температура грунтов в слое годовых теплооборотов.

Сущность эксперимента заключалась в различном режиме полива и контроле за термовлажностным режимом грунтов на этих участках. Одна из площадок имеет естественный дождевальный режим полива, а другая – дополнительно орошается водой. С помощью сравнения динамики температуры грунтов двух площадок ставилась задача количественно оценить влияние инфильтрации летних атмосферных осадков на температурный режим грунтов.

Для получения корректных данных эксперимента, на этих площадках в период 2011 — 2013 гг. велись наблюдения за термовлажностным режимом грунтов в естественных условиях. Предварительные исследования показали идентичность термовлажностного режима грунтов этих участков, в связи с чем проведение такого эксперимента правомочным. Для сравнения в таблице 1 и на рисунке 2 представлены значения и график разности температур на площадках за летний период 2013 года.

Для повышения качества эксперимента была сконструирована установка, представляющая собой теплоизолированный сосуд (осадкомер) известной площадью с датчиком температуры на дне. С помощью этой установки определяли температуру осадков у поверхности земли с временным интервалом. Считая температуру осадков в осадкомере максимально приближенной к истинной, нами регулировалось температура дополнительно вносимых осадков.

Летом 2014 года, с 1 июня по 30 сентября проведен эксперимент с различным режимом полива на экспериментальных площадках. На площадке 1 (пл. 1) кроме естественных осадков проводился дополнительный полив водой, а площадка 2 (пл. 2) находилась в естественных условиях. За весь период эксперимента выпало 165 мм осадков. На экспериментальные площадки (9 квадратных метров) за этот период выпало естественных осадков в объеме по 1485 литров. Дополнительно на площадку 1 (пл.1) внесено - 2970 литров воды, т.е. количество осадков увеличилось в три раза.

Проведенный эксперимент и анализ полученной информации позволил оценить влияния инфильтрации жидких атмосферных осадков на температурный режим грунтов стационара «Туймаада». Разность температуры грунтов ( $\Delta t$ ) по глубинам за период эксперимента между 2 участками представлены в таблице 1.

В характере распределения разницы температур с глубиной выделяется 4 зоны, отличающегося изменением температурного режима (рис.2).

Таблица 1. Разность температуры грунтов на участках в период с поливом и без полива

Глубина, в м	Разность температур за летний период 2014 г., в °С	Разность температур за летний период 2013 г., в °С
0	1,12	0,51
0,1	1,28	0,57
0,2	1,62	0,6
0,4	2,34	0,65
0,7	2,06	0,71
0,9	1,23	0,73
1,2	0,7	0,58
1,6	0,41	0,33
2	0,3	0,27
3	0,3	0,25
4	0,28	0,24
5	0,2	0,2

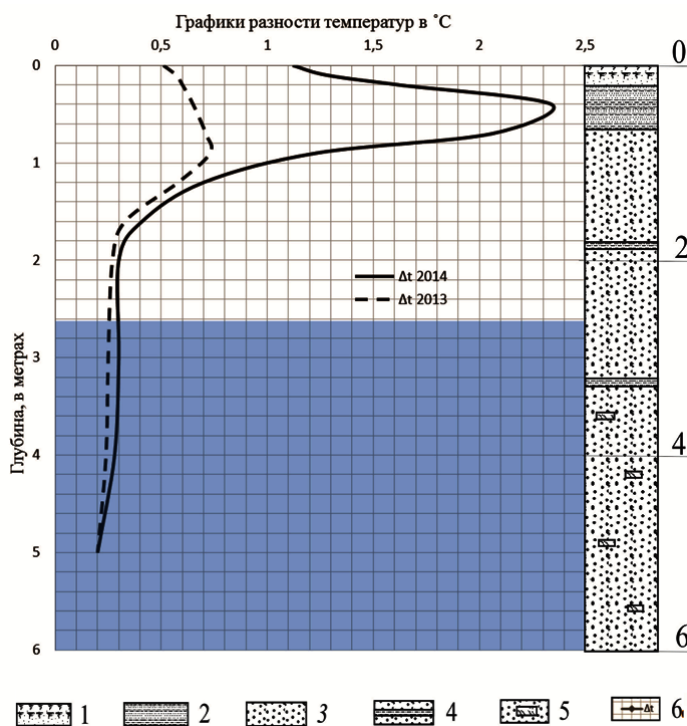


Рис. 2. График изменения разности температур по глубине между двумя экспериментальными площадками с представленным разрезом. Условные обозначения: 1 - почвенно-растительный слой; 2 - супесь; 3 - пески средне- и мелкозернистые; 4 - супесчаные прослойки; 5 - прослойки, обогащенные растительными остатками; 6 – значение разности температур

С поверхности до глубины 0,4 метра прослеживается зона 1, характеризующаяся повышением разности температур в диапазоне от 1,1 до 2,3°C. Отчасти, это связано с литологической неоднородностью в разрезе (см. рис.2) и залеганием в интервале глубин от 0,2 до 0,7 м супесей, обладающих меньшим коэффициентом фильтрации, относительно песков. В связи с чем, теплопотери жидких осадков в этом интервале

значительны и грунт получает большее количества тепла, которое в свою очередь зависит от количества осадков.

Ниже на глубинах от 0,4 до 1,2 метра выделяется вторая зона, в ней наблюдается резкое понижение разности температур. Это обусловлено изменением литологического состава пород, в этом интервале.

В интервалах глубин от 1,2 до 2 метров выделяется зона (зона 3), характеризующаяся становлением стационарного режима с относительно малым градиентом ( $\Delta t$ ). Разность температуры пород здесь сокращается с глубиной от 0,7 до 0,4°C, и связано с близостью границы раздела мерзлых и талых пород и относительно низкими температурами инфильтрационных вод на этих глубинах.

С глубины 2 м наблюдается зона с квазистационарным тепловым режимом. Она включает в себя талые грунты, переходный слой и мерзлые грунты. Вероятно что, в таком спектре температур не должен прослеживаться квазистационарный характер. Однако представленная кривая показывает, что разность температур между двумя участками в летний период незначительна.

Из сравнения графиков следует что, в результате искусственного увеличения количества осадков максимальная разность температуры повысилась примерно на 1,5 градуса. Пики  $\Delta t$  приходятся на глубины с 0,4 до 0,9 м. что обусловлено низкими инфильтрационными свойствами грунтов в этом интервале.

## Выводы

Проведенный полевой эксперимент на участке песчаных грунтов Центральной Якутии (стационар «Туймаада») показал, что глубина проникновения влияния инфильтрации летних атмосферных осадков прослеживается до глубины 5 м.

Увеличение в 3 раза количества выпадающих летних атмосферных осадков приводит к повышению температуры грунтов на различных глубинах на величину от 0,2 до 2,3°C.

В процессе инфильтрации летних атмосферных осадков в характере их теплообмена с грунтами отмечаются 4 зоны, отличающиеся интенсивностью теплообмена. Наиболее высокий тепловой эффект инфильтрации осадков отмечается в верхней части разреза и тесно связан с фильтрационными свойствами грунтов. Наличие в разрезе пород с различными фильтрационными свойствами в значительной степени определяет характер теплообмена атмосферные осадки-грунты и соответственно глубину проникновения зоны влияния атмосферных осадков.

Проведенными исследованиями оценен тепловой эффект лишь за летний период 2014 года. Продолжение эксперимента позволит нам оценить температурную сдвигку на различных глубинах в годовом цикле за счет инфильтрации. Провести корректировку математических моделей и получить данные обеспечивающие прогнозные решение при оценке изменения теплового состояния грунтов при изменениях климата.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта "Научно-образовательный фонд поддержки молодых ученых Республики Саха (Якутия)" 201502010137"

## Литература

- Балобаев В.Т. Теоретические основы управления протаиванием и промерзанием горных пород в природных условиях // Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. – Якутск, 1965. – 364 с.
- Веселов В. В. Опыт оттайки грунтов дождеванием // «Колыма»: №3. Магадан, 1958. – С. 21-25.
- Гедройц А.Э. Геологические исследования в Забайкальской области по линии железной дороги между Сретенском и Покровском / А. Э. Гедройц // Сборник статей Геологические исследования и разведочные работы по линии Сибирской железной дороги: вып. 6. – Санкт-Петербург, 1897. – С. 23-35.
- Гольдтман В.Г. Оттайка вечномерзлых грунтов дождеванием оборотной водой // Труды ВНИИ\_1 МЦМ СССР: вып. 3. – Магадан, 1956. – 15 с.
- Гольдтман В. Г. Дренажный способ оттайки пород при разработке россыпей // Труды ВНИИ\_1 МЦМ СССР: вып. 4. – Магадан, 1956. – 30 с.
- Гольдтман В.Г. Теплообмен в фильтрующих крупнозернистых грунтах при дренажной и игловой гидрооттайке // Труды ВНИИ\_1 МЦМ СССР: вып. 13. – Магадан, 1958. – 56 с.
- Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение / Б. Н. Достовалов, В. А. Кудрявцев; ред. К. А. Кондратьев; Московский государственный университет. – Москва: Изд-во МГУ, 1967. – С. 270-272.
- Кудрявцев В.А. Влияние инфильтрации теплых летних осадков на температурный режим, сезонное промерзание и протаивание и на годовые теплообороты грунтов // Сборник статей Мерзлотные исследования: вып. 7. – Москва: Изд-во МГУ, 1967. – С. 27-29.

- Общее мерзлотоведение под редакцией акад. П. И. Мельникова / Акад. наук СССР, Сибирского отделения, Институт мерзлотоведения. – Новосибирск: Изд-во «Наука» – С. 101-134.
- Оловин Б.А. Фильтрационная проницаемость вечномерзлых грунтов / Б. А. Оловин; отв. ред. д. г.-м. н. В. Т. Балобаев; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ление, Ин-т мерзлотоведения. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. – 256 с.
- Павлов А.В., Оловин Б.А. Искусственное оттаивание мерзлых пород теплом солнечной радиации при разработке россыпей / А. В. Павлов, Б. А. Оловин; отв. ред. чл.-кор. П. И. Мельников; Академия наук СССР, Сиб. отд-ления, Ин-т мерзлотоведения. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1974. – 182 с.
- Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР / А. В. Павлов; отв. ред. к. г.-м. н. В. Т. Балобаев; Академия наук СССР, Сиб. отд-ления, Ин-т мерзлотоведения. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1975. – 124-189.
- Павлов А.В. Теплофизика ландшафтов / А. В. Павлов; отв. ред. чл.-кор. П. И. Мельников; Академия наук СССР, Сиб. отд-ления, Ин-т мерзлотоведения. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1979. – 284 с.
- Перльштейн Г.З. Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на северо-востоке СССР / Г. З. Перльштейн; отв. ред. д. г. н. А. В. Павлов; Академия наук СССР, Сиб. отд-ление, Институт мерзлотоведения. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1979. – 304 с.
- Перльштейн Г.З. О влиянии инфильтрации воды на скорость оттаивания песчаных и крупнообломочных отложений // Сборник статей Мерзлотные исследования: вып. 8. – М.: Изд-во МГУ, 1968. – С. 43-49.
- Фельдман Г.М. Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов / Г. М. Фельдман; отв. ред. к. с.-х. н. А. В. Павлов; Академия наук СССР, Сиб. отд-ление, Институт мерзлотоведения. – Новосибирск: Изд-во «Наука», 1977. – 80-87.





## Кинетика роста корки льда и пленки воды на поверхности диссоциирующих газогидратных частиц

А.Г.Заводовский

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

М.Ш.Мадыгулов, А.М.Решетников

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

В работе исследована диссоциация гидрата фреона-12 на лед (воду) и газ при различных термодинамических условиях в области температур ниже 273 К. На основе данных роста давления газа в ячейке с образцом сделана оценка толщины корки льда (пленки воды), образующихся на поверхности диссоциирующих газогидратных частиц. Установлено, что радиальная скорость роста корки льда (пленки воды) возрастает при понижении температуры образца и росте движущей силы процесса диссоциации. При этом характерно, что скорость диссоциации гидрата фреона-12 на переохлажденную воду и газ значительно ниже скорости его диссоциации на лед и газ при прочих равных условиях.

**Ключевые слова:** Газовые гидраты; диссоциация; кинетика; лед; переохлажденная вода.

## The Growth Kinetics of the Crust of Ice and Water Film on the Surface of Dissociating Gas Hydrate Particles

A.G.Zavodovsky

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

M.Sh.Madygulov, A.M.Reshetnikov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

It was studied the Freon-12 hydrate dissociation into ice (water) and gas under different thermodynamic conditions at temperatures below of 273 K. Assessment of the thickness of the crust of ice (water film) formed on the surface of dissociating gas hydrate particles made on the basis of the growth of the gas pressure in the sample cell. It has been established that the radial growth rate is the crust of ice (water film) increases with decreasing temperature of the sample and growth driving force of the dissociation process. It is characteristic that the rate of hydrate dissociation of Freon-12 supercooled water and gas well below the rate of dissociation on the ice and gas, *ceteris paribus*.

**Key Words:** Dissociation; gas hydrates; ice; kinetics; supercooled water.

### Введение

Для повышения качества консервации техногенных и природных газов в газогидратной форме актуальны исследования кинетики диссоциации гидратов на лед, переохлажденную воду и газ. Это связано с тем, что консервация газовых гидратов достигается созданием непроницаемой корки льда на его поверхности [Якушев Истомин 1990]. Эффективность экранирования гидрата коркой льда зависит не только от ее толщины, но и физико-механических свойств, которые можно формировать уже на этапе разложения гидрата. Известно, что защитные свойства корки льда возрастают, если она формируется не при разложении гидрата на лед и газ, а в результате кристаллизации переохлажденной воды на его поверхности [Истомин и др. 2006].

Для того чтобы получить корку льда на поверхности гидрата с различными защитными свойствами

необходимо создать условия диссоциации гидрата на лед или переохлажденную воду, с последующей ее кристаллизацией [Заводовский и др. 2014.]. Установлено, что запуск того или иного механизма диссоциации гидрата при температурах ниже 273 К возможен путем использования на начальном этапе эксперимента соответствующих газогидратных систем: лед-гидрат-газ и переохлажденная вода-гидрат-газ [Zavodovsky et al 2014].

Для того чтобы задать исходную толщину корки льда и варьировать ее значения в экспериментах по исследованию защитных свойств, необходимы данные о линейной скорости изменения ее величины при заданных термодинамических условиях.

На сегодняшний день скорость диссоциации гидрата качественно оценивают на основе экспериментальных данных по кинетике изменения давления газа, который выделяется при разложении гидрата. Для получения информации о линейной скорости движения фронта

фазового перехода гидрат→ вода (лед)+газ, необходимо установить взаимосвязь изменения величины давления газа с толщиной корки льда (пленки воды), образующихся на поверхности гидрата.

Это возможно при наличии адекватной модели диссоциации гидрата, что в конечном итоге позволит получить зависимость скорости роста корки льда (пленки воды) в зависимости от температуры образца и движущей силы процесса диссоциации.

**Объект исследований**

В данной работе использована совокупность большого числа газогидратных частиц фреона-12, полученных на основе молотого льда со средним размером гранул  $D_{oi} \sim 450$  мкм (рис.1). В качестве гидратообразующего газа

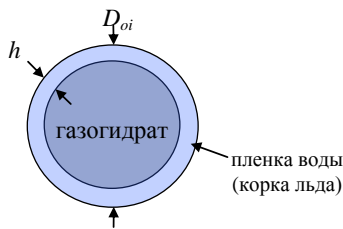


Рис.1. Модель диссоцирующей газогидратной частицы.  $h$  – толщина пленки воды (корки льда).

применяли фреон-12 (R-12) с объемным содержанием  $CCl_2F_2$  не менее 99,7 %. Газовый гидрат фреона-12 относится к гидратам структуры КС-II и характеризуется низким давлением гидратообразования.

**Экспериментальная установка**

$P$ - $T$  измерения процесса диссоциации исследуемого образца гидрата, находящегося в реакторе, выполнены на экспериментальной установке, созданной в ИКЗ СО РАН (рис. 2).

Напуск гидратообразующего газа в реактор

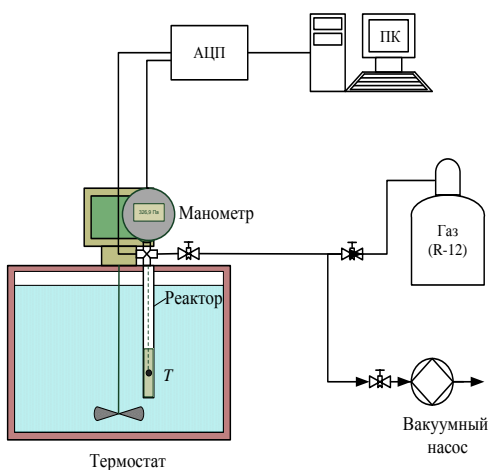


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для синтеза и  $P$ - $T$  исследований газогидратов.  $T$  – температура образца.

осуществляется подключением к нему баллона с фреоном-12. Для понижения давления в ячейке с образцом используется вакуумный насос. Давление газа в

реакторе контролируется цифровым манометром с погрешностью 1,5 кПа во всем диапазоне измерений.

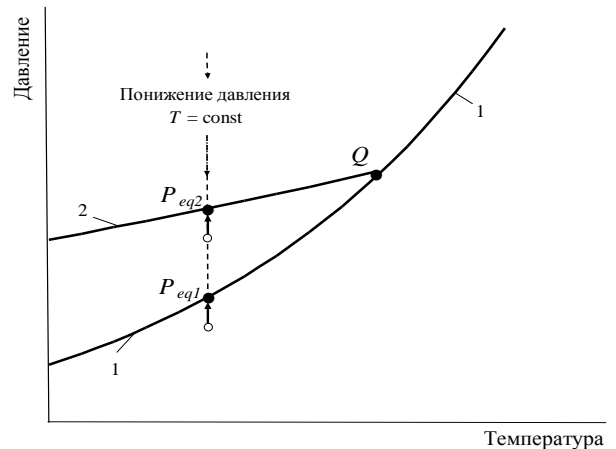


Рис. 3. Схема эксперимента по исследованию кинетики диссоциации гидрата фреона-12 в области температур ниже 273 К. 1- линия равновесия “вода (переохлажденная вода)–гидрат–газ”; 2 – линия равновесия “лёд–гидрат–газ”.  $P_{eq1}$ ,  $P_{eq2}$  – соответствующие давления равновесия при температуре  $T$ .  $Q$  – квадрупольная точка равновесия “вода – лёд – гидрат – газ”.

Сигналы от датчика температуры и цифрового манометра после АЦП преобразований записываются на ПК и воспроизводятся на экране монитора для визуального контроля хода эксперимента.

**Методика эксперимента**

В эксперименте, схема которого представлена на рис.3, использовали образцы гидрата фреона-12 двух типов: лед-гидрат-газ и вода-гидрат-газ. Согласно результатам работы [Zavodovsky et al 2014] это давало возможность исследовать кинетику диссоциации гидрата фреона-12 на лед + газ и переохлажденную воду + газ в области температур ниже 273 К. При этом образцы гидрата с заданной степенью гидратообразования и контролируемым фазовым состоянием не перешедшей в гидрат воды готовили по методике описанной в работе [Власов и др. 2011].

Для инициализации процесса диссоциации гидрата давление в реакторе понижали в изотермических условиях ниже соответствующей линии равновесия на 5-7 кПа. После перекрытия крана на реакторе наблюдали характерный рост давления вследствие диссоциации гидрата (рис. 4). Аналогичные зависимости получены при различных температурах и начальных давлениях диссоциации как при разложении гидрата на лед и газ, так и при его диссоциации на переохлажденную воду и газ.

**Методика обработки экспериментальных данных**

Основой обработки экспериментальных данных по изменению давления  $\Delta P$  газа в ячейке с образцом гидрата являются полученные аналитические соотношения,

связывающие величину  $\Delta P$  с толщиной  $h$  корки льда (пленки воды), образующихся на поверхности диссоциирующих газогидратных частиц:

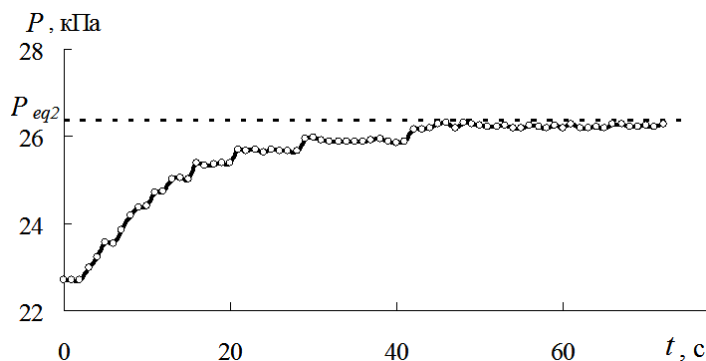


Рис.4. Динамика роста давления газа в рабочей ячейке с образцом в процессе диссоциации газового гидрата фреона-12 на лед и газ при температуре 269,7 К.

а) толщина корки льда –

$$h = 0,5D_{oi} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{n_h \cdot \Delta P \cdot V \cdot M_i}{m_{oi} \cdot R \cdot T}}\right), (1)$$

где  $m_{oi}$  - исходная масса льда в образце гидрата,  $n_h$  - гидратное число,  $V$  - объем газа в рабочей ячейке с образцом,  $T$  - температура образца,  $M_i$  - молярная масса льда,  $R$  - универсальная газовая постоянная;

б) толщина пленки воды –

$$h = 0,5D_{oi} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{n_h \cdot \Delta P \cdot V \cdot M_w \rho_i}{m_{oi} \cdot \rho_w \cdot R \cdot T}}\right). (2)$$

Здесь  $M_w$  - молярная масса воды,  $\rho_i$  - плотность льда,  $\rho_w$  - плотность воды.

## Результаты

По результатам экспериментов получено, что в процессе разложения гидрата толщина корки льда (пленки воды) немонотонно возрастает, достигая максимального значения при выходе образца по давлению на линию равновесия лед-гидрат-газ (переохлажденная вода-гидрат-газ). При этом в процессе диссоциации гидрата на переохлажденную воду и газ в ряде случаев отмечалась преждевременная кристаллизация воды, что накладывает ограничения на толщину образовавшейся корки льда.

На основе полученных зависимостей  $h(t)$  определены числовые значения скорости роста корки льда (пленки воды) в зависимости от движущей силы процесса диссоциации  $\Delta P_{eq} = P_{eq} - P$  ( $P_{eq}$ ,  $P$  - соответственно равновесное давление в системе лед-гидрат-газ и текущее давление газа при температуре  $T$ ) (рис.5). Наглядно видно, что скорость диссоциации гидрата фреона-12 возрастает практически линейно с ростом величины  $\Delta P_{eq}$ . При этом согласно представленным на рис. 5 данным, скорость диссоциации гидрата на лед и газ возрастает с

понижением температуры образца при прочих равных условиях.

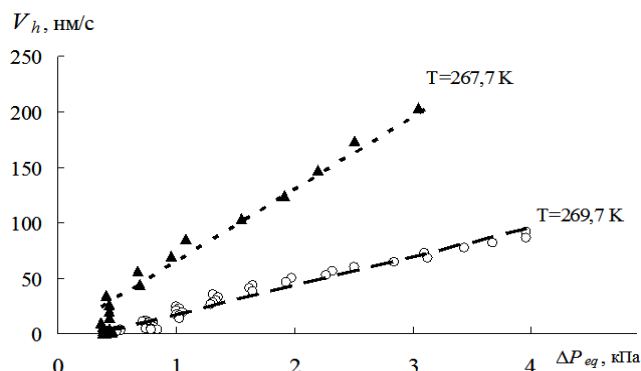


Рис.5. Зависимость радиальной скорости роста корки льда на поверхности диссоциирующих газогидратных частиц фреона-12 от температуры и движущей силы процесса диссоциации  $\Delta P_{eq}$ .

В случае разложения гидрата на переохлажденную воду и газ также отмечается возрастание скорости диссоциации с понижением температуры образца и ростом величины  $\Delta P_{eq}$ . При этом скорость диссоциации гидрата на переохлажденную воду и газ значительно ниже скорости его диссоциации на лед и газ при прочих равных условиях. Для полноты картины необходимы дополнительные эксперименты при  $T < 267$  К

## Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы ФНИ государственных академий наук на 2013-2017 годы (приоритетное направление VIII.77.2.), научного проекта РФФИ №14-08-31627 мол\_a и Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-3929.2014).

## Литература

- Власов В. А., Заводовский А. Г., Нестеров А.Н., Решетников А. М., Ширшова А.В., Пульдас Л.А., Данько М.Ю. 2011. Гидратообразование при термоциклировании образцов дисперсного льда по данным метода ядерного магнитного резонанса // Вестник ТГУ, 2011, №7, с.73-81.
- Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш., Нестеров А.Н., Решетников А.М. 2014. Консервация гидрата фреона-12 модифицированным льдом // Тезисы докладов конференции «Газовые гидраты в экосистеме Земли' 2014» Новосибирск: ИНХ СО РАН, 2014, с. 62.
- Истомин В.А., Якушев В.С., Махонина Н.А., Квон В.Г., Чувилин Е.М. 2006. Эффект самоконсервации газовых гидратов // Газовая промышленность. Спецвыпуск "Газовые гидраты", 2006, с. 36-46.
- Якушев В.С., Истомин В.А. 1990. Особенности существования газовых гидратов в породах при отрицательных температурах // Геохимия, 1990, №6, с. 899-903.
- Zavodovsky A.G., Madygulov M.Sh., Reshetnikov A.M., Nesterov A.N. 2014. Induction phenomena at the dissociation of gas hydrates // Proceedings of the 8th International Conference on Gas Hydrates (ICGH8-2014), Beijing, China, 28 July - 1 August, 2014.

## Why turbulence dominates the atmosphere and hydrosphere?

S.S.Zilitinkevich

*Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland  
Division of Atmospheric Sciences, University of Helsinki, Finland  
Department of Radio Physics, University of Nizhniy Novgorod, Russia  
Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Russia  
Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

### Реферат

It is widely recognised that in very stable stratifications, at Richardson numbers ( $Ri$ ) exceeding the critical value  $Ri_c \sim 0.25$ , turbulence inevitably decays and the flow becomes laminar. This is so, indeed, in the low-Reynolds-number ( $Re$ ) flows, e.g., in some experiments; but this is by no means always the case. Air flows in the free atmosphere and water currents in the deep ocean are almost always turbulent in spite of the strongly supercritical stratifications, with typical values of  $Ri$  varying in the interval  $10 < Ri < 102$ . Until recently, this paradox has remained unexplained.

### Почему и для чего атмосфера и океан турбулентны?

С.С.Зилитинкевич

*Финский метеорологический институт, Хельсинки, Финляндия  
Университет Хельсинки, Отделение атмосферных наук, Хельсинки, Финляндия  
Новгородский государственный университет, радиофизический факультет, Нижний Новгород  
Московский государственный университет им.М.Ю.Ломоносова, географический факультет, Москва  
Институт географии РАН, Москва*

### Abstract

Широко известно, что при очень устойчивой стратификации, когда число Ричардсона ( $Ri$ ) превышает критическое значение  $Ri_c \sim 0.25$ , турбулентность неизбежно затухает и течение становится ламинарным. И это действительно так для течений с низким числом Рейнольдса ( $Re$ ), что подтверждается экспериментами; но это не универсальное правило. Воздушный поток в свободной атмосфере и течения в глубоком океане почти всегда турбулентны, несмотря на чрезвычайно устойчивую стратификацию, с типичными значениями  $Ri$  в интервале  $10 < Ri < 102$ . До недавнего времени этот парадокс оставался необъясненным.

### Why turbulence does not degenerate?

We demonstrate that the key mechanism of the seemingly paradoxical self-preservation of the very-high- $Re$  geophysical turbulence as the loop including (i) conversion of the turbulent kinetic into potential energy and (ii) self-control of the negative (down-gradient) turbulent heat flux through efficient generation of the positive (counter-gradient) heat transfer by the turbulent potential energy (Zilitinkevich et al., 2007, 2008, 2009, 2013). Thanks to this loop, turbulence is maintained in supercritical stratifications and, moreover, at  $Ri > Ri_c$  the familiar "strong-mixing turbulence" regime, typical of boundary-layer flows and characterised by the practically invariable turbulent Prandtl number  $Pr_T \sim 1$  (the so-called "Reynolds analogy"), gives way to a previously unknown "wave-like turbulence" regime, wherein  $Pr_T$  sharply increases with increasing  $Ri$  (rather than to the laminar regime as is often the case in lab experiments).

It is precisely the wave-like turbulence that dominates the free flows in the atmosphere and ocean. Modellers have long been



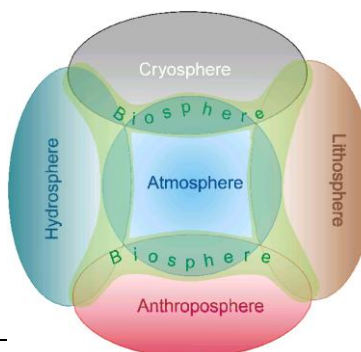
aware that the turbulent heat transfer in the free atmosphere/ocean is much weaker than the momentum transfer. Our theory gives authentic formulation for this heuristic rule and provides physically grounded method for modelling geophysical turbulence up to very stable stratifications.

Vincent van Gogh: The Starry Night, June 1889, The Museum of Modern Art, New York. The word turbulence is applied to phenomena of different nature, which causes much confusion.

### Turbulence in climate system

Turbulence is ever present in the atmosphere and ocean and performs vitally important "services":

- transporting the energy, matter and momentum in the vertical throughout the fluid geospheres, and
- linking the geospheres via strongly turbulent planetary boundary layers (PBLs) into an interconnected climate system.



Turbulent mixing is strong in PBLs and very weak beyond PBLs – in the free atmosphere and deep ocean. PBLs (shown in the figure as



dark lenses) couple the atmosphere, hydrosphere, lithosphere and cryosphere into a hierarchy of interconnected systems,

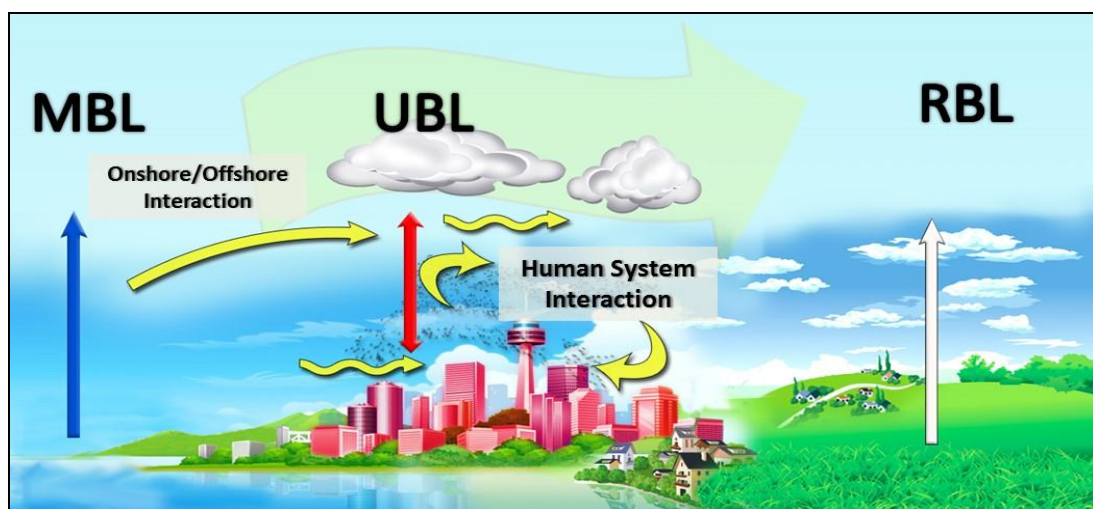
including the global climate machine. PBLs host 90% of the biosphere and the entire anthroposphere.



Shallow, stably-stratified planetary boundary layer (PBL) in Bergen visualized by water haze (winter 2012, photo by T. Wolf). Conventional theory fails to explain the difference between turbulence in the PBL and the free atmosphere.



Deep, well mixed, cloudy convective layer

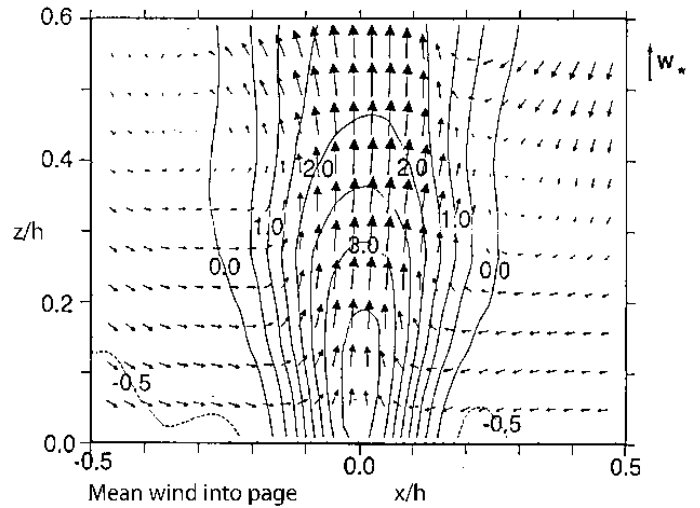
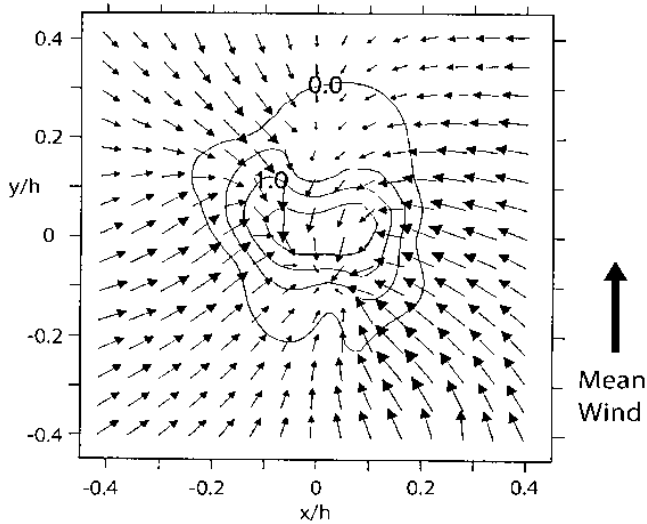


PBLs control fine features of local weather, air pollution and microclimate

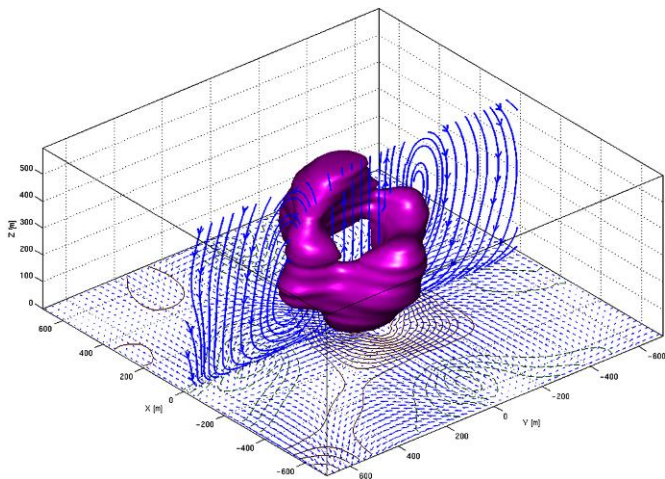
### Turbulent convection

Convective motions driven by the potential energy of unstable stratification develop over warm Earth surface or in clouds, and very efficiently transfer heat from the surface upward – thus performing a very important “climate service”, e.g., to prevent extremes and moderate heat waves. The conventional theory treated convective mixing as usual turbulence, which gets in conflict with modern experimental evidence. Observations in nature, LES and DNS revealed

large-scale self-organised cells and rolls in turbulent convection. Convective cells are known in viscous convection since Benard [1900] and Rayleigh [1916]. Rolls typical of the atmosphere and ocean (with no analogy in viscous convection) are driven by the large-scale turbulent instability controlled by the non-gradient horizontal heat flux [Elperin et al, 2002, 2005]. Self-organised convective motions are disregarded in the following universally recognised theories: the classical heat/mass transfer law:  $Nu = 0.14 Ra^{1/3}$ , the Monin-Obukhov similarity theory, etc.

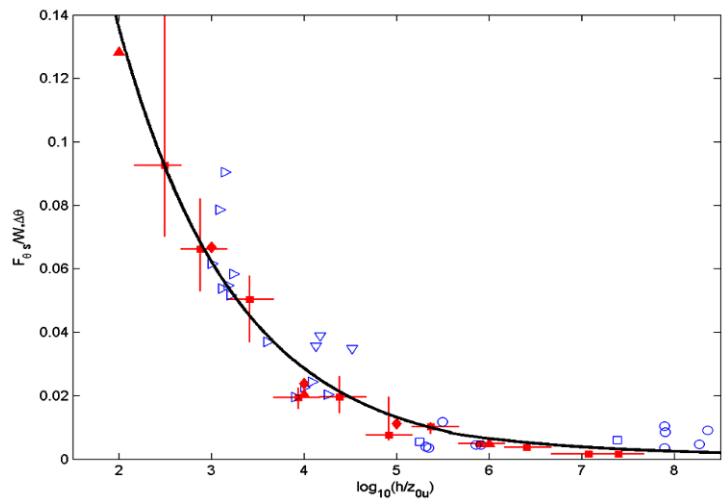


Williams and Hacker [1992] airborne measurements: Arrows show the self-organised velocity field. Solid lines show deviations of potential temperature  $\theta$  from its averaged value  $\langle \theta \rangle$ . The iso-surface  $\theta - \langle \theta \rangle = 0$  marks the side walls of the updraught.



Numerically simulated “LES portrait” of a self-organised structure in shear-free convective PBL. Solid lines in horizontal plane mark updraughts with vertical wind velocity  $w$  from 0.14 to 0.84 m/s. Maximal updraught velocity is 1.2 m/s; maximal horizontal velocity, 2.8 m/s. Dashed contours mark downdraughts (from  $-0.16$  to  $-0.8$  m/s). Bold curves with arrows in  $y,z$  plain show streamlines. The domain size is given in metres [Esau, 2006].

Turbulent free convection involves the following mechanism disregarded in the classical theory: large-scale self-organised motions include the near-surface convective winds (towards the plume base), which generate mechanical turbulence and, by this means, enhance the heat and mass transfer up to two orders of magnitude.



Heat-transfer is much stronger than in classical theory and depends on other parameters:  $h/z_{0u}$

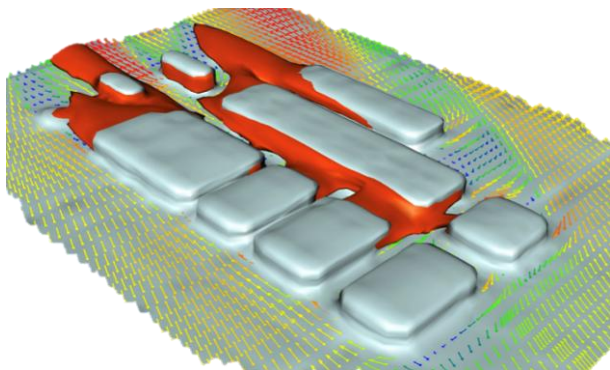


Shallow polluted PBL over Moscow  
19.03.2015, 10:00 a.m. – view from 18th floor of the main building of Moscow University (photo by S.A.Dobrolyubov)

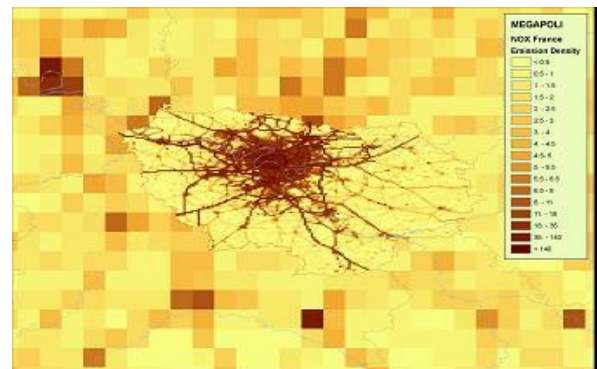
### Turbulence and urban air pollution



Air quality in Nanjing, China: in the heavily polluted and the clean air (photos by M. Kulmala)



Strong heterogeneity of urban air pollution in the neighbouring street canyons in Copenhagen [Nuterman et al., EU MEGAPOLI, 2011].



City-scale 1x1 km NO<sub>x</sub> emission inventory for Paris showing main city transport arteries; and 7x7 km boxes showing emissions at regional scale [H.A.C. Denier van der Gon, EU MEGAPOLI, 2011]

### References

- Zilitinkevich, S.S., Hunt, J.C.R., Grachev, A.A., Esau, I.N., Lalas, D.P., Akylas, E., Tombrou, M., Fairall, C.W., Fernando, H.J.S., Baklanov, and A., Joffre, S.M., 2006: The influence of large convective eddies on the surface layer turbulence. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **132**, 1423-1456.
- Zilitinkevich, S., Esau, I. and Baklanov, A., 2007: Further comments on the equilibrium height of neutral and stable planetary boundary layers. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **133**, 265-271.

- Zilitinkevich, S.S., Elperin, T., Kleorin, N., Rogachevskii, I., Esau, I., Mauritsen, T., and Miles, M. W., 2008: Turbulence energetics in stably stratified geophysical flows: strong and weak mixing regimes. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **134**, 793-799.
- Zilitinkevich, S.S., Elperin, T., Kleorin, N., Rogachevskii, I., Esau, I.N., 2013: A hierarchy of energy- and flux-budget (EFB) turbulence closure models for stably stratified geophysical flows. *Boundary-Layer Meteorol.* **146**, 341-373
- Zilitinkevich S., Kulmala M., Esau I., Baklanov A., 2015: Megacities – refining models to personal environment. *WMO Bulletin* **64** (1), 20-22.

## Реконструкция динамики природных сообществ долины реки Глубокий Сабун (бассейн реки Вах) на рубеже позднего плейстоцена – голоцена по энтомологическим данным.

Е.В.Зиновьев

*Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург*

### Реферат

Рассматриваются данные по насекомым из позднечетвертичных отложений долины реки Глубокий Сабун (бассейн р. Вах) на примере трех местонахождений, отнесенных к окончанию позднего плейстоцена и голоцену. В местонахождении «Зеленый остров» описано два комплекса: первый - из слоя позднекаргинской палеопочвы, представленный исключительно арктическими и арктобореальными видами, отражая условия холодного климата, второй – из слоя оторфованного песка (С14 дата 10780±70 лет), по своему составу он ближе к современному фауне данной территории, хотя находки жукилицы *Diacheila polita* указывают на более холодный по сравнению с современным климат. Энтомокомплекс местонахождения «Большая горка» (С14 дата 13300±150 лет) представлен арктическими и арктобореальными видами. Видовой состав насекомых голоценового местонахождения «Эллеганский пережат» полностью тождественен современным группировкам насекомых долины реки Глубокий Сабун. На основании этих данных определена динамика природных сообществ исследуемой территории: в период с конца каргинского времени и до 15000 лет назад здесь был холодный климат, обусловивший распространение открытых тундровых ландшафтов, а формирование природных сообществ, близких к современным, началось после 12000 лет.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, поздний плейстоцен, голоцен, насекомые, динамика фаун, палеоэкология.

## Reconstruction of the Dynamics of Natural Communities of Glubokiy Sabun River (Vakh River Basin) on the Base of Sub-Fossil Insect Data

E.V.Zinovyev

*Institute of Plant and Animals Ecology, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg*

### Abstract

In this work it was concerned sub-fossil insect data from the Late Quaternary sites of Glubokiy Sabun river valley on the example of three localities. For "Zelyoniy ostrov" site two insect faunas have been described: first dated by Late Karginian time, second has radiocarbon dating as 10780±70 yr BP. Insect complex dated by Late Karginian age consists of arctic and subarctic species and reflects cold tundra conditions. Insect fauna from the upper sample (having C14 data 10780±70 yr BP) is similar to modern beetle communities of the studied territory. However, the presence of subarctic species *Diacheila polita* indicates cooler than present climate. Insect fauna of "Bolshaya gorka site" (C14 data is 13390±150 yr BP (SOAN- 7309)) indicates cold tundra conditions. Species composition of "Ellegenskiy perekat" site, dated by Holocene, demonstrates clear similarity with modern insect complexes of studied territory. On the basis of these data the dynamics of paleoenvironment during the Late Pleistocene to Holocene have been reconstructed.

**Key Words:** Dynamics of faunas; Holocene; Late Pleistocene; paleoecology; sub-fossil insects; West Siberia.

### Введение

Насекомые являются достаточно чувствительными индикаторами изменения природных условий. За счет богатства видового состава, разнообразия экологических групп и приуроченности к ныне живущим видам они с успехом используются для целей палеоэкологических и палеогеографических реконструкций. Вследствие относительно слабой механической прочности хитиновых фрагментов жуки в меньшей степени подвержены перезахоронению, в отличие от растительных остатков, а тем более спор и пыльцы. Энтомологические данные являются составной частью комплексных палеофаунистических исследований Урала

и Западно-Сибирской равнины, проводимых сотрудниками Института экологии растений и животных УрО РАН.

Территория бассейна реки Вах, куда входит река Глубокий Сабун, до недавнего времени не была изучена с палеоэнтомологической точки зрения. Отбор проб из четвертичных отложений реки Глубокий Сабун (в пределах ЗПП «Сибирские увалы»), содержащих остатки насекомых, был проведен в июле 2002 года. В ходе полевых работ совместно с сотрудником Нижневартовского государственного педагогического университета к.г.-м.н. С.Е.Коркиным было описано 7 местонахождений четвертичных насекомых, полученные материалы были частично опубликованы [Зиновьев 2002;



Зиновьев Нестерков 2003]. В настоящей работе приводятся дополненные сведения по описанным местонахождениям, с учетом полученных радиоуглеродных датировок, а также новых данных.

### Методика и материалы

Рассматривается материал из трех точек, расположенных в долине реки Глубокий Сабун, отобранный летом 2002 года. Помимо этого, приводятся результаты обработки пробы из местонахождения «Зеленый остров», взятой в 2006 году и переданной Е.Коркиной (Нижевартовский государственный педагогический университет) автору для последующей обработки.

Отбор проб в поле и лабораторная обработка материала проводилась по стандартным методикам, принятым для данного типа анализа [Киселев 1987]. Извлеченные остатки жуков монтировались на специальные кассеты, их определение производилось путем сравнения с коллекционными экземплярами, хранящимися в научном музее Института экологии растений и животных УрО РАН. Часть материала передана для определения в Институт систематики и экологии животных СО РАН (Новосибирск).

### Полученные результаты и обсуждение

Местонахождение «Зеленый остров» находится в 17,5 км выше базы парка «Сибирские увалы» на правом берегу реки Глубокий Сабун (координаты точки 62°29'46" с.ш. и 81°05'53" в.д.), Энтомологический материал обнаружен в средней части пятиметрового обрыва на глубине 3,79 - 3,91 м (слой № 5, мощность 0,12 м), остатки насекомых обнаружены в оторфованном песке с остатками корней и веток. По растительному детриту для данного местонахождения получена радиоуглеродная дата 10780±70 лет (LE-8972), калиброванная дата определена как 12756-12956 лет. Кроме того, в 2006 году было проведено комплексное геологическое исследование этого же разреза, откуда была описана палеопочва позднекаргинского времени (слой № 6), из которой был взята проба на энтомологический анализ.

В составе энтомокомплекса пробы, отобранной из слоя 5 представлены арктобореальные, бореальные и полизональные насекомые, населяющие пойменные, болотные и лесные сообщества долины реки Глубокий Сабун в настоящее время [Зиновьев 2002; Зиновьев Нестерков 2004]. Отличия же от современных группировок насекомых изучаемой территории заключаются в присутствии в данной пробе некоторых видов жуков, не найденных здесь в настоящее время. Так, отмечено значительное число (17, отнесенных к 6 особям) фрагментов жужелицы *Diacheila polita*. Современный ареал этого вида в Западной Сибири охватывает южную часть тундровой зоны, лесотундру и север тайги [Kryzhanovskij et al. 1995; Зиновьев Ольшванг 2003], достигая среднего течения реки Етыпур [Зиновьев Рябцев 2000]. В Восточной Сибири *D. polita* встречается гораздо шире - на юг доходит до Забайкалья, где населяет

горные тундры и горные леса [Чернов 1978]. Другие виды – жужелицы *Pterostichus adstrictus* и *Cymindis macularis* считаются обитателями северной части таежной зоны, населяя сосновые леса с песчаными почвами в долинах рек Аган, Етыпур, Большой Юган [Зиновьев Ольшванг 2003; Зиновьев 2007], однако до сих пор не были найдены на территории ЗПП "Сибирские Увалы".

Согласно данным карпологического анализа, представленным О.М.Короной (ИЭРиЖ УрО РАН, Екатеринбург), состав семян и макроостатков растений характеризует растительные сообщества прибрежных заболоченных территорий, а наличие остатков можжевельника (*Juniperus*) свидетельствует о существовании возвышенных хорошо дренируемых участков, с которыми, по всей вероятности и были связаны жужелицы *P. adstrictus* и *C. macularis*.

В пробе, представленной Е.Коркиной из слоя позднекаргинской палеопочвы найдено небольшое число насекомых (23 фрагмента, отнесенных к 12 особям). Они отнесены исключительно к видам тундровой фауны. Это жужелицы *Amara (Curtonotus) alpina*, *Pterostichus (Cryobius) cf. pinguedineus*, стафилины *Tachinus arcticus* и *T. brevipennis*. Анализ современных экологических требований представленных видов позволяет предполагать, что слой формировался в условиях холодного климата, близкого к климатической обстановки тундровой зоны.

Местонахождение «Большая горка». Находится в 2 км ниже устья реки Липпыг-Инк-Игол, координаты 62°26'60" с. ш. и 81°19'20" на правом берегу реки Глубокий Сабун. В июле 2002 г. Энтомологический материал взят из нижней части разреза из линзы намывного растительного детрита (глубина взятия 8,92 – 8,77 м). Из этой линзы по растительному детриту была получена радиоуглеродная дата 13390±150 лет (СОАН-7309), калиброванная дата определена как 15675-16571 лет. В настоящее время извлечено 87 остатков, отнесенных к 23 особям.

Энтомокомплекс данного местонахождения представлен преимущественно арктическими и субарктическими видами жесткокрылых (*Pterostichus costatus*, *P. sublaevis*, *Amara glacialis*, *Curtonotus alpinus*, *Tachinus arcticus*, *Lepyrus nordenskjoldi*, *L. arcticus* и *Isochnus arcticus*). Состав жуков очень близок к энтомокомплексам современных типичных тундр Среднего Ямала, где встречается подавляющее большинство найденных здесь видов. Исключение может составлять разве что *Isochnus arcticus*, населяющий тундры и лесотундры Восточной Сибири [Коротяев 1980], однако он довольно широко представлен в плейстоценовых отложениях Среднего Приобья [Бородин и др. 1994]. Видовой состав данного комплекса отражает условия холодного климата и соответствующего развития открытых тундроподобных ландшафтов в период 15675-16571 cal.BP

Местонахождение «Эллеганский пережат». Находится на правом берегу реки Глубокий Сабун вблизи устья реки Элле-Еган, координаты точки 62°26'60" с. ш. и 81°19'20" в.д. Остатки насекомых обнаружены в слое плотных

синих глин, находящихся в нижней части 4-метрового обрыва, представляющего уровень пойменной террасы. Из данного слоя обработано три пробы, представляющих нижнюю, среднюю и верхнюю части данного слоя. Слои, содержащие остатки насекомых, отнесены к ранне-среднему голоцену (пока без радиоуглеродной даты).

В нижней пробе, взятой с глубины 3,67-3,8 м было обнаружено относительно мало жуков. Все они отнесены к видам которые или обитают на данной территории в настоящее время (*Hydrobius fuscipes*, *Aegialia abdita*, *Dyschirius obscurus*, *Dyschiriodes globosus*, *Trechus (Eraphius) rivularis* и др.) или могут здесь встречаться, хотя современная граница расположена западнее (*Trechoblemus micros*). Интерес представляет находка переднеспинки жужелицы *Trechus secalis*, не найденной на территории парка «Сибирские увалы», но встречающейся в пойме Оби в районе Нижневартовска, Ханты-Мансийска [Зиновьев 2007; Колтунов и др. 2009].

Энтомокомплекс из образца, взятого с глубины 3,32-3,42 м представлен преимущественно теми видами, которые найдены в составе современных группировок насекомых ЗПП «Сибирские Увалы». Исключение составляют два вида – жужелицы *Agonum fuliginosum* и *Chlaenius costulatus*. Тем не менее, современные их ареалы охватывают таежную зону Западно-Сибирской равнины, где *A. fuliginosum* распространен в заболоченных биотопах различных типов – от пойм рек до верховых олиготрофных болот [Зиновьев Козырев 2000]. Вид *Chlaenius costulatus* достаточно редок в современных сборах, однако широко представлен в позднеголоценовых отложениях Урала и Западной Сибири [Зиновьев 2003], в том числе в слое № 5 местонахождения «Зеленый остров».

Энтомокомплекс пробы из верхней части данного слоя, с глубины 2,8 – 2,9 м, аналогичен группировкам насекомых, представленным в нижележащих образцах. Здесь преобладают полизональные жесткокрылые, а также ряд бореальных видов. Представлены два вида рода *Trechus* – *T. rivularis* (обычный для голоценовых отложений данной территории и отмеченный в современных сборах долины реки Глубокий Сабун) и *T. secalis*. Последний найден в пробе 1 данного местонахождения. Если судить по видовому составу найденных в этой пробе насекомых, ландшафтно-климатическая обстановка в период формирования данного слоя была близка к современной на этой же территории. По классификации четвертичных энтомофаун [Zinovyev 2006] этот комплекс можно определить как бореальный пойменный. Наличие водных жуков (вертячки рода *Gyrinus*) свидетельствуют о водном генезисе отложений (причем это, скорее всего была именно старица реки), а наличие остатков пластинчатоусого *Aegialia abdita* исключает болотное происхождение даного слоя, поскольку это вид встречается на участках с легкими песчаными почвами, по берегам и в поймах рек.

Таким образом, на прмере трех местонахождений четвертичных насекомых, представленных в долине реки Глубокий Сабун можно воссоздать динамику природных

сообществ данной территории. Так, в период с конца каргинского времени и по крайней мере до 15000-16000 (а может и позже) лет назад здесь существовал достаточно холодный климат, обусловивший распространение открытых тундроподобных ландшафтов и соответствующих энтомокомплексов. На рубеже 11000-12000 лет на данной территории уже существовали комплексы, близкие к современным, однако с участием арктобореальных видов жуков, указывающих на условия несколько более холодного климата. Период между 11000 и 10000 лет пока является «белым пятном», у нас нет данных, которые могли бы каким-то образом показать характер изменений в составе фаун, сопоставляемых с природными процессами непосредственно на рубеже поздний плейстоцен-начало голоцена. Фауны жуков современного облика сформировались на данной территории голоцене, при этом какой-либо существенной динамики энтомокомплексов (которую можно было бы связать именно с климатическими, а не сукцессионными изменениями) за последние 10000 лет пока не выявлено.

### Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам Нижневартовского педагогического университета С.Е.Коркину за консультации при описании местонахождений, а также Е.Коркиной, предоставившей пробу из позднекаргинской палеопочвы местонахождения «Зеленый остров» Отдельно следует поблагодарить сотрудника Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск) И.Ю. Овчинникова за предоставленные калиброванные даты по местонахождению «Большая горка».

### Литература

- Бородин А.В., Зиновьев Е.В., Быкова Г.В., Корона О.М. 1994. Материалы к характеристике наземных экосистем бассейна реки Аган. Аганского и Сибирских увалов в позднечетвертичное время. Деп. в ВИНТИ 11.01.1994, N 83 - В94. 198 С.
- Зиновьев Е.В. 2002. Находки насекомых в четвертичных отложениях долины реки Глубокий Сабун // Экологические исследования восточной части Сибирских увалов. Нижневартовск: "Приобье". Вып. 1. 2002. с. 119 - 131.
- Зиновьев Е.В., Козырев А.В. 2000. К фауне жужелиц (Coleoptera: Trachypachidae, Carabidae) среднего течения р. Оби // Плейстоценовые и голоценовые фауны Урала. Сб. научн. трудов. Челябинск: Рифей., С. 154- 165.
- Зиновьев Е.В., Ольшванг В.Н. 2003. Жуки севера Западно-Сибирской равнины, Приполярного и Полярного Урала // Биологические ресурсы Полярного Урала. Научный вестник. 3 (II). Салехард. с. 37-60.
- Зиновьев Е.В., Рябицев А.В. 2000. К фауне жесткокрылых Сибирских увалов (Западная Сибирь) // Материалы к познанию фауны и флоры Ямало-Ненецкого автономного округа. Научный вестник. Вып. 4 (часть II). Салехард, 2000. С. 51-55..

- Зиновьев Е.В. 2007. Локальные фауны жукелиц (Coleoptera: Trachyrachidae, Carabidae) Среднего Приобья и прилегающих территорий // Биологические ресурсы и природопользование. Вып. 10. Сургут: Дефис. С. 134-148.
- Зиновьев Е.В., Нестерков А.В. 2003. Новые данные к изучению четвертичных насекомых территории Заповедно-природного парка «Сибирские Увалы» // Экологические вследования восточной части Сибирских Увалов: Сб. науч. тр. - Нижневартовск: Приобье, Вып. 2. С. 66-82.
- Zinovyev E.V. 2006. Problems of ecological interpretation of Quaternary insect faunas from the central part of northern Eurasia. Quaternary Science Reviews 25, 1821-1840
- Киселев С.В. 1987. Отбор образцов на палеоэнтомологический анализ //Комплексные биостратиграфические исследования: Учебное пособие /Под ред. П.А.Каплина. - М.: Изд-во Моск. ун-та, с. 21-26.
- Колтунов Е.В., Зиновьев Е.В., Залесов С.В., Гилев А.В. 2009. Флора и фауна Природного Парка "Самаровский Чугас". Энтомофауна. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т. 178 с.
- Коротяев Б.А. 1980. Материалы по фауне жуков-долгоносиков (Coleoptera, Curculionidae) Северо-Востока СССР // Исследования по энтомофауне Северо-Востока СССР. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, с. 23 - 50.
- Kryzhanovskij O.L., Belousov I.A., Kabak I.I., Kataev B.M., Makarov K.V., Shilenkov V.G. 1995. A Checklist of the ground-beetles of Russia and Adjacent Lands (Insecta, Coleoptera, Carabidae). Sofia Moskow: Pensoft publishers. 271P.
- Чернов Ю.И. 1978. Структура животного населения Субарктики. М.: Наука. 167 с.



## Исследование фазовых переходов гидратов природного газа в системах «асфальтосмолопарафиновые отложения + вода»

И.К.Иванова

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск*

М.Е.Семенов, Ю.Э.Шилова

*Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск*

### Реферат

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) высокого давления исследован процесс образования гидратов природного газа в смесях, состоящих в различных соотношениях из промышленных асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) парафинистого типа и воды. По полученным термограммам определены температуры и давления фазовых переходов и степень превращения воды в гидрат в смесях АСПО и воды.

**Ключевые слова:** асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО); гидраты природного газа (ГПГ); дифференциально- сканирующая калориметрия (ДСК); степень превращения воды в гидрат; температура кристаллизации; температура плавления.

## Investigation of Natural Gas Hydrates Phase Transitions in the Systems «Asphaltene-Resin-Paraffin Deposits + Water»

I.K.Ivanova

*Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk*

M.E.Semenov, Yu.E.Shilova

*Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk*

### Abstract

The formation of natural gas hydrates was investigated in a mixture with different ratios of commercial paraffin-type asphaltene-resin-paraffin deposits and water by high pressure differential scanning calorimetry (DSC). According to the obtained thermograms phase transition temperature, pressure and the conversion of water to hydrate in the mixtures were determined.

**Key Words:** asphaltene-resin-paraffin deposits (ARPD); the conversion of water into the hydrate; crystallization temperature; differential scanning calorimetry (DSC); natural gas hydrates (NGH); melting temperature.

### Введение

В большинстве нефтегазоносных бассейнов России, в том числе, расположенных в зоне многолетнемерзлых пород, добываемая нефть относится к парафинистому типу и практически 80% ее добывается в обводненном состоянии [Антонова и др. 2003]. В условиях низких температур и высоких давлений наличие парафина и воды в нефти в присутствии нефтяного газа может привести к образованию совместных пробок гидратов и отложений парафина, что вкуче нарушает технологию добычи, переработки и транспорта нефти. Самым распространенным способом для разрушения уже имеющихся пробок гидратов и парафина является использование химических реагентов, представляющих собой композиции ингибиторов парафина с метанолом [Каменщиков 2008, Булатов и др. 2011, Глуценко & Силлин 2009]. Следует отметить, что подбор композиции осуществляется эмпирическим путем и ее апробация состоит из серии дорогостоящих промышленных испытаний. Поэтому основным недостатком химического способа является его высокая трудоемкость и

себестоимость, а также загрязнение окружающей среды за счет использования метанола.

Таким образом, в данной работе приведены результаты исследования процессов образования/разложения гидратов природного газа (ГПГ) в смесях промышленных АСПО парафинового типа и воды.

### Экспериментальная часть

Широкое использование метода ДСК для изучения гидратообразования в эмульсиях нефтей [Le Parlouer et al. 2004, Zhang et al. 2004, Dalmazzone et al. 2006, Lachance et al. 2008, Gupta et al. 2008, Lachance et al. 2009, Dalmazzone et al. 2009, Davies et al. 2009, Zhang & Lee 2009, Semenov 2015] позволило применить в данной работе этот метод при исследовании фазовых переходов ГПГ в эмульсиях АСПО.

Для получения гидратов использовался природный газ Средневилюйского месторождения с высоким содержанием метана (92,9 об.%). Смеси промышленных парафинистых АСПО (образцы отобраны с поверхности



насосно-компрессорных труб на Иреляхском ГНМ) и дистиллированной воды в различных соотношениях были приготовлены при комнатной температуре с помощью электрического миксера Bosh с частотой вращения лопастей 13000 об/мин, эмульсии взбивались в течение 30 мин. Образцы:

№1 Дистиллированная вода;

№2 АСПО+Дист. вода соотношение компонентов 20/80;

№3 АСПО+Дист. вода соотношение компонентов 40/60;

№4 АСПО+Дист. вода соотношение компонентов 60/40;

№5 АСПО+Дист. вода соотношение компонентов 80/20;

Для экспериментов использовался дифференциальный сканирующий калориметр высокого давления DSC 204 HP Phoenix фирмы Netzsch (Германия). Относительная погрешность измерения энтальпии  $\pm 3\%$ , погрешность измерения температуры  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Для экспериментов были выбраны стальные тигли, которые закрывались проколотыми алюминиевыми крышками. Навески эмульсий измеряли в аналитических микровесах Mettler-

Toledo MT5. Масса образцов составляла 34,047-35,218 мг. В стальную тигель-ячейку помещали образец и загружали в камеру высокого давления, затем эту камеру вакуумировали и нагнетали природный газ до установления давления в 50 атм, которое затем динамически поддерживалось. При достижении  $+6^\circ\text{C}$  давление переводилось на стационарный режим. Для определения температур кристаллизации систему охлаждали до  $-12-15^\circ\text{C}$  со скоростью  $0,1^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Для определения температур плавления, температуру в ячейке повышали до  $20^\circ\text{C}$  со скоростью  $0,2^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Таким образом, исследуемые термограммы состояли из 2-х сегментов – одного сегмента охлаждения и одного сегмента нагревания, с получением экзотерм образования и эндотерм плавления льда и гидрата. Результаты исследований отражены на рис. 1 и в табл.1. Данные образований и разложения гидратов используемого газа в дистиллированной воде, приведенные в таблице 1 для сравнения, опубликованы в [Ivanova et al. 2014].

Таблица 1. Термобарические условия фазовых превращений ГПГ

№	Образец	Условия кристаллизации	Условия плавления		$\alpha^*$ , %
			льда	гидрата	
1	Дистиллированная вода	1 пик: $t=-11,40^\circ\text{C}$ ; $P=43,26 \text{ bar}$ ; $\Delta H=49,82 \text{ Дж/г}$	$t=-1,10^\circ\text{C}$ ; $P=42,06 \text{ bar}$ $\Delta H= -64,38 \text{ Дж/г}$	$t=10,60^\circ\text{C}$ ; $P=41,24 \text{ bar}$ $\Delta H= -1,481 \text{ Дж/г}$	2,3
2	АСПО+Дист. Вода 20/80	2 пика: $t=-8,28^\circ\text{C}$ ; $P=46,87 \text{ bar}$ ; $\Delta H=0,75 \text{ Дж/г}$ $t=-6,43^\circ\text{C}$ ; $P=47,80 \text{ bar}$ ; $\Delta H=6,97 \text{ Дж/г}$	$t=-1,37^\circ\text{C}$ ; $P=44,53 \text{ bar}$ $\Delta H= -0,85 \text{ Дж/г}$	$t=9,99^\circ\text{C}$ ; $P=43,79 \text{ bar}$ $\Delta H= -12,55 \text{ Дж/г}$	93,7
3	АСПО+Дист. Вода 40/60	1 пик: $t=-1,87^\circ\text{C}$ ; $P=50,12 \text{ bar}$ ; $\Delta H=11,73 \text{ Дж/г}$	отс.	$t=10,70^\circ\text{C}$ ; $P=45,40 \text{ bar}$ $\Delta H= -19,96 \text{ Дж/г}$	100
4	АСПО+Дист. Вода 60/40	1 пик: $t=-7,64^\circ\text{C}$ ; $P=48,46 \text{ bar}$ ; $\Delta H=20,57 \text{ Дж/г}$	$t=-1,74^\circ\text{C}$ ; $P=44,35 \text{ bar}$ $\Delta H= -8,03 \text{ Дж/г}$	$t=9,98^\circ\text{C}$ ; $P=43,65 \text{ bar}$ $\Delta H= -19,76 \text{ Дж/г}$	71,1
5	АСПО+Дист. Вода 80/20	1 пик: $t=-12,40^\circ\text{C}$ ; $P=43,44 \text{ bar}$ ; $\Delta H=8,99 \text{ Дж/г}$	$t=-2,39^\circ\text{C}$ ; $P=39,10 \text{ bar}$ $\Delta H= -0,36 \text{ Дж/г}$	$t=8,32^\circ\text{C}$ ; $P=38,31 \text{ bar}$ $\Delta H= -13,12 \text{ Дж/г}$	97,3

$\alpha^*$ -степень превращения воды в гидрат.

Видно (рис.1), что термограммы образцов №4 и 5 имеют практически идентичный характер. При охлаждении этих образцов зарегистрирован один пик кристаллизации при температурах  $-7,64$  и  $-12,40^\circ\text{C}$ , соответственно. При анализе кривых плавления, помимо пиков, соответствующих плавлению льда, зарегистрированы пики плавления ГПГ при температурах  $+9,98$  и  $8,32^\circ\text{C}$ , это позволяет сделать вывод о том, что пик кристаллизации представлял собой смесь льда и гидрата. Степень превращения воды в гидрат составляет 71,1 и 97,3%, для образцов №4 и 5 соответственно. Анализ термограммы образца №3 показал, что единственный зарегистрированный пик, полученный при

охлаждении и нагревании образца представляет собой пик образования и разложения ГПГ, т.е. при соотношении АСПО+вода=40/60 вода полностью перешла в гидратное состояние. При охлаждении образца №5 зарегистрировано 2 пика кристаллизации с температурами  $-6,43$  и  $-8,28^\circ\text{C}$ . При нагревании образца – пики плавления льда и гидрата при температуре  $+9,99^\circ\text{C}$ . Сравнением площадей пиков плавления гидратов установлено, что степень превращения воды в гидрат увеличивается от 2,3 % гидратообразования в дистиллированной воде и достигает 100 % в эмульсиях АСПО в зависимости от соотношения компонентов.

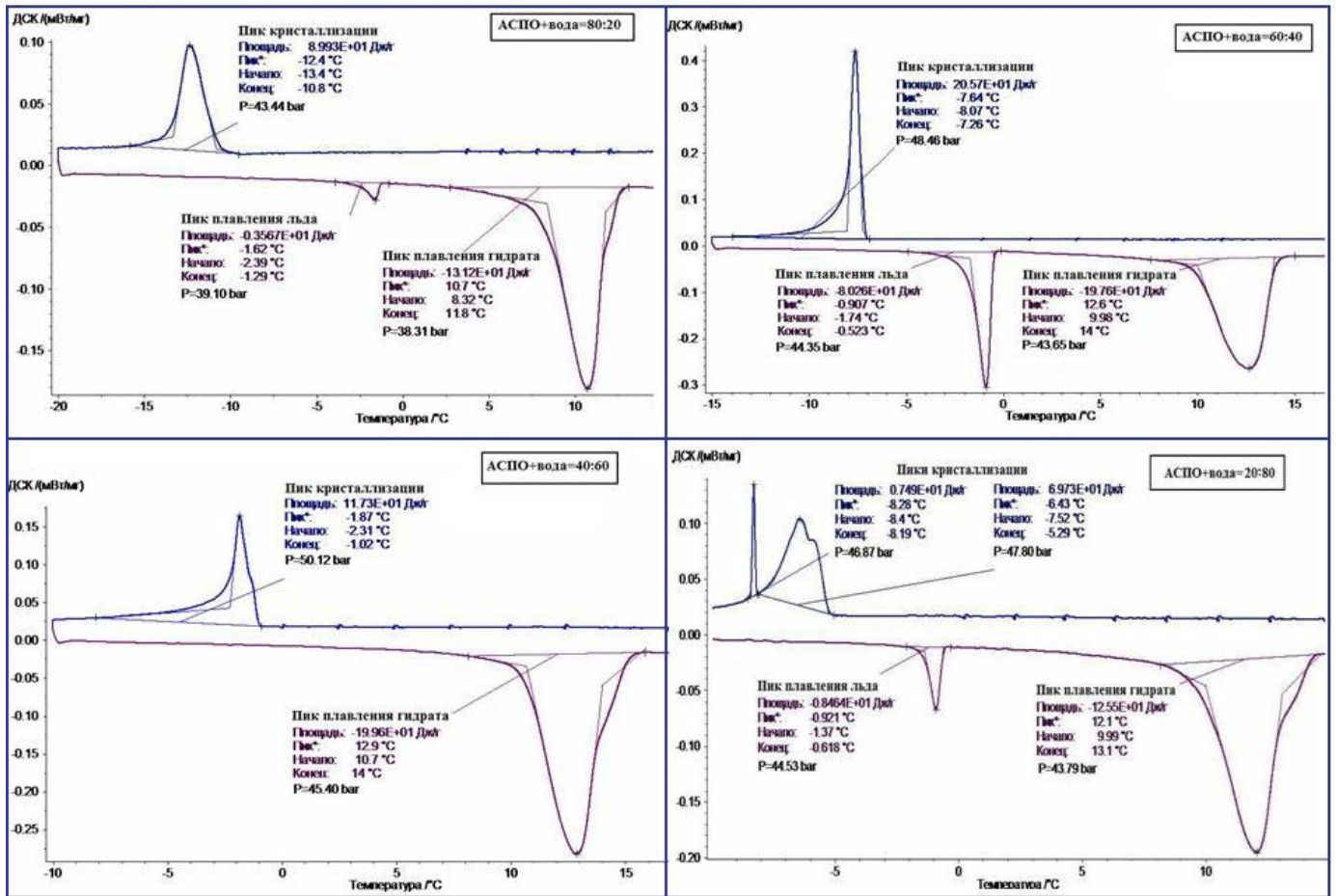


Рис.1. Термограммы фазовых превращений ГПГ в системах «АСПО+вода» с различным соотношением компонентов

По методике E. Dendy Sloan (компьютерная программа CSMHYD) были рассчитаны равновесные условия гидратообразования для используемого природного газа (рис.2 –красная линия).

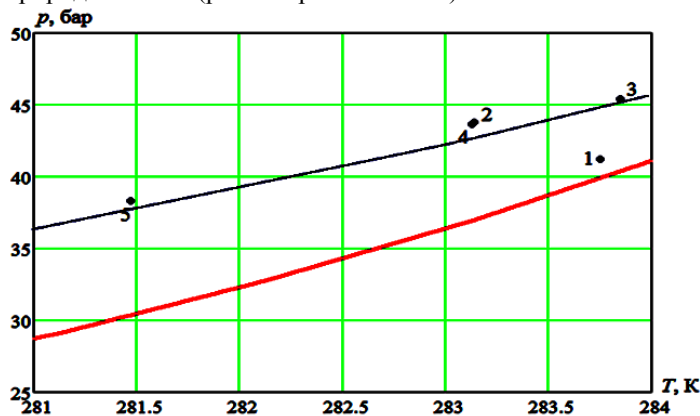


Рис. 2. Сопоставление равновесного условия гидратообразования для природного газа с экспериментальными условиями для систем:

- 1 – дистиллированная вода, 2 – АСПО+дистиллированная вода 20/80, 3 – АСПО+дистиллированная вода 40/60, 4 – АСПО+дистиллированная вода 60/40, 5 – АСПО+дистиллированная вода 80/20

По полученным нами экспериментальным данным вполне определенно можно очертить термобарическую область образования гидратов в системе «АСПО+вода» (рис.2 –синяя линия). Причем, видно, что кривая гидратообразования для использованного природного газа в исследуемых системах сдвигается в область высоких давлений. Поэтому при значениях равновесных параметров, лежащих ниже этой кривой, в системах добычи и транспорта газа гидраты образовываться не будут.

### Заключение

Таким образом, методом ДСК исследованы фазовые переходы гидратов природного газа в системах «парафинистое АСПО+вода». Возможно, что полученные экспериментальные данные послужат основой для разработки рекомендаций по предотвращению образования пробок гидратов и парафина, образующихся при эксплуатации месторождений нефтегазонасных бассейнов, расположенных в зоне многолетнемерзлых пород.

### Литература

Dalmazzone, D, Hamed, N. & Dalmazzone C. 2009. DSC Measurements and modeling of the kinetics of methane

- hydrate formation in water-in-oil emulsion. *Chemical Engineering Science* №9. V. 64: 2020-2026.
- Dalmazzone, D., Hamed, N., Dalmazzone, C. & Rosseau, L. 2006. Application of high pressure DSC to the kinetics of formation of methane hydrate in water-in-oil emulsion. *Thermal Analysis and Calorimetry* V. 85: 361-368.
- Davies, S.R., Hester, K.C., Lachance, J.W., Koh, C.A. & Sloan, E.D. 2009. Studies of hydrate nucleation with high pressure differential scanning calorimetry. *Chemical Engineering Science* V. 64: 370-375.
- Gupta, A., Lachance, J, Sloan E.D. & Koh, C.A. 2008. Measurements of methane hydrate heat of dissociation using high pressure differential scanning calorimetry V. 63: 5848-5853.
- Ivanova, I.K., Semenov, M.E. & Rozhin I.I. 2014. Synthesis and phase transformations of natural gas hydrates of Srednevelyuiskoe field. *Russian Journal of Applied Chemistry* №8. V. 87: 1094 – 1098.
- Lachance, J.W., Sloan, E.D. & Koh, C.A. 2008. Effect of hydrate formation/dissociation on emulsion stability using DSC and visual techniques. *Chemical Engineering Science* V. 63: 3942-3947.
- Lachance, J.W., Sloan, E.D. & Koh, C.A. 2009. Determining gas hydrate kinetic inhibitor effectiveness using emulsions. *Chemical Engineering Science* V. 64.: 180-184.
- Le Parlouer, P., Dalmazzone, C., Herzhaft, B., Rousseau, L. & Mathonat, C. 2004. Characterization of gas hydrate formation using a new high-pressure micro-DSC. *Thermal Analysis and Calorimetry* V. 78: 165-172.
- Semenov, M.E., Manakov, A.Yu., Shitz, E.Yu., Stoporev, A.S., Altunina, L.K., Strelets, L.A, Misyura, S.Ya. & Nakoryakov V.E. 2015. DSC and thermal imaging studies of methane hydrate formation and dissociation in water emulsions in crude oils. *Thermal Analysis and Calorimetry* №1. V. 119: 757-767.
- Zhang, J. & Lee, J.W. 2009. Effect of sodium dodecylsulfate on the supercooling point of ice and clathrate hydrates. *Energy Fuels* V. 23: 3045-3047.
- Zhang, Y., Debenedetti, P.G., Prud'homme R.K., & Pethica B.A. 2004. Differential scanning calorimetric studies of clathrate hydrate formation. *The journal of physical chemistry b* V. 108: 16717-16722.
- Антонова, Е.О., Крылов, Г.В., Прохоров, А.Д. & Степанов, О.А. 2003. Основы нефтегазового дела. – М.: Недра, 2003. - 308 с.
- Булатов, А.И., Кусов, Г.В. & Савенок, О.В. 2011. Асфальто-смоло-парафиновые отложения и гидратообразования: предупреждение и удаление. – Краснодар: Издательский Дом - Юг, 2011. - Т.2. - 348 с.
- Глушенко, В.Н. & Силин, М.А. *Нефтепромысловая химия: Изд. В 5-ти т.– М.: Интерконтакт Наука, 2009. – Т.5.*
- Глушенко, В.Н., Силин, М.А., Герин, Ю.Г. Предупреждение и устранение асфальтеносмоло-парафиновых отложений.- 475 с.
- Каменщиков Ф.А. Удаление асфальтосмолопарафиновых отложений растворителями. 2008.– М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский институт компьютерных исследований, 2008. - 384 с.



## Исследование состава гидратов природных газов месторождений Лено-Тунгусской НГП

Л.П.Калачева, А.Ф.Федорова  
Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск

### Реферат

Рассчитан состав гидратов природного газа месторождений Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Установлено, что гидраты имеют кристаллическую структуру КС-II. В гидрат преимущественно концентрируются тяжелые углеводороды. Значения степеней заполнения и гидратные числа показывают практически полное заполнение полостей. Гидратный газ содержит в среднем 5 % мол. этана, что делает его привлекательным в качестве сырья для газохимической переработки.

**Ключевые слова:** гидратообразование; природный газ; состав гидратов.

## Investigation of the Natural Gas Hydrates Composition of Lena-Tunguss Petroleum Province Deposits

L.P.Kalacheva, A.F.Fedorova  
Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk

### Abstract

The natural gas hydrates composition of Lena-Tunguss petroleum province deposits was calculated. It is established that hydrates have a crystalline structure of КС-II. Heavy hydrocarbons are mainly concentrated in the hydrate. The values of the filling degree and hydrate numbers show almost complete filling of cavities. The hydrate gas contain on average 5 mol. % of ethane, which makes it attractive as a raw material for the gas processing.

**Key Words:** hydrate composition; hydrate formation; natural gas.

Непско-Ботуобинская нефтегазоносная область является богатейшей по разведанным запасам углеводородов и прогнозным ресурсам областью Лено-Тунгусской НГП (ЛТ НГП). К ней приурочено более 25% всех начальных геологических суммарных ресурсов углеводородов провинции. На территории Республики Саха (Якутия) в Непско-Ботуобинской НГО обнаружено 13 месторождений нефти и газа, из них 3 крупные и одно уникальное [Бурова 2010]. Эти месторождения характеризуются низкими пластовыми температурами (277-293 К) и давлениями (97-185 атм.). На основании компонентного состава пластового газа месторождений ЛТ НГП были рассчитаны равновесные условия гидратообразования природных газов. Расчеты показали, что при пластовых условиях залегания месторождений Лено-Тунгусской НГП гидратообразование возможно для всех месторождений. В качестве примера на рисунке 1 представлены результаты расчетов условий гидратообразования для Таас-Юряхского НГКМ. Сплошной кривой изображены полученные термобарические условия, также показана точка пересечения штриховых прямых, которая соответствует пластовым условиям.

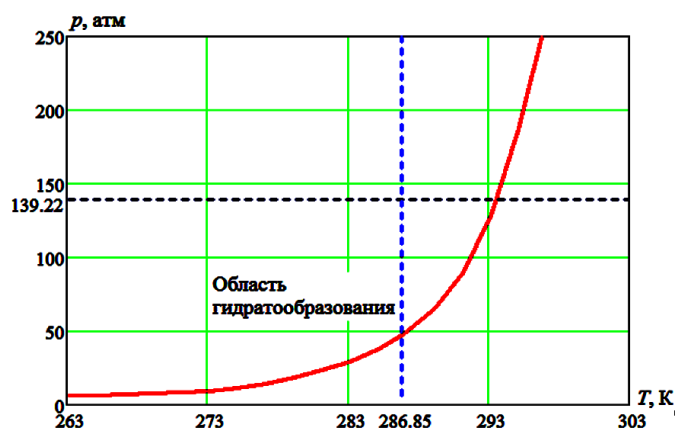


Рис. 1. Равновесные условия гидратообразования для пластового газа Таас-Юряхского месторождения

Состав гидратов природных газов месторождений ЛТ НГП был рассчитан по методике Д. Слоана с использованием программы PhaseEqCsmhyd [Sloan&Koh 2007]. В таблице 1 представлен расчетный состав гидратов природного газа Таас-Юряхского НГКМ Лено-Тунгусской НГП.

В таблице 2 обобщены данные по компонентному составу природных газов ЛТ НГП и результаты расчетов по составу гидратов.



Табл. 1. Расчетный состав гидратов природного газа Таас-Юряхского НГКМ в пластовых условиях.

Пластовые условия: $T_{пл}=286,7$ К; $P_{пл}=143,8$ атм; Равновесные условия гидратообразования: $T_{равн}=286,7$ К; $P_{равн}=51,30$ атм					
Структура гидрата: КС-II					
№	Компонент	Содержание в природном газе, % мол.	Содержание в гидрате, % мол.	Степень заполнения малых полостей $\theta_1$	Степень заполнения больших полостей $\theta_2$
1	Метан	88,48	68,17	0,8374	0,1454
2	Этан	4,74	4,50	0	0,1201
3	Пропан	1,60	23,17	0	0,6187
4	Изобутан	0,17	3,30	0	0,0881
5	Н-бутан	0,39	0,76	0	0,0202
6	C5+	1,05	0	0	0
7	Диоксид углерода	0,24	0,11	0,0011	0,0008
8	Азот	3,32	0	0	0
Сумма		100,0	100,0	0,8385	0,9933

Табл. 2. Компонентный состав природных газов и гидратов

Компонент	Содержание в природном газе, % мол.	Содержание в гидрате, % мол.
Метан	78-91	62,06-77,72
Этан	2,4-7,4	1,94-8,15
Пропан	0,5-2,6	14,26-28,18
изобутан	0,05-0,55	1,96-10,46
Н-бутан	0,13-1,5	0,45-1,76
C5+	0,22-1,32	0
CO <sub>2</sub>	0-0,89	0-0,7
N <sub>2</sub>	0,55-11,6	0,2-2,34
H <sub>2</sub>	0-0,53	0
He	0-0,79	0

Гидраты природных газов месторождений ЛТ НГП имеют структуру КС-II, так как в природных газах содержание этана больше 0,6 % мол., а пропана - 0,2 % мол. (табл. 2). Концентрирование углеводородных компонентов природного газа происходит соответственно возрастанию давления диссоциации простых гидратов, т.е. в следующем порядке: изобутан, пропан, н-бутан, этан, метан. Степени заполнения малых

полостей гидратов изменяются от 0,7159 до 0,9187, а больших от 0,9863 до 0,9953, т.е. гидраты природных газов термодинамически стабильны. Значения гидратных чисел варьируются в пределах от 5,85 до 6,14, что соответствует практически полному заполнению всех полостей в кристаллической структуре гидрата.

Таким образом, анализ состава гидратов природных газов месторождений ЛТ НГП показал, что в газовую фазу гидрата концентрируются более тяжелые углеводороды. Содержание этана составляет в среднем 5 % мол., т.е. гидратный газ относится к этансодержащим газам, являющихся востребованными для переработки на газохимических комплексах для получения наиболее массовых полупродуктов современной нефтехимии.

## Литература

- Бурова И.А. Карбонатные коллекторы вендско-нижнекембрийского нефтегазоносного комплекса Восточной Сибири // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2010. - Т.5. - №2 - [http://www.ngtp.ru/rub/4/23\\_2010.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2010.pdf)
- Sloan E.D. & Koh C.A. 2007. Clathrate hydrates of natural gases: Third Edition. - NY: CRC Press, 2007. - 721 p.

## Использование данных дистанционного зондирования и методов математической морфологии ландшафта для оценки риска поражения инженерных сооружений термокарстовыми процессами

В.Н.Капралова

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва*

### Реферат

Предложен путь оценки риска поражения различных инженерных сооружений термокарстовыми процессами при помощи методов математической морфологии ландшафта и данных дистанционного зондирования. В работе приведены допущения, положенные в основу моделей для территорий с развитием термокарстовых процессов. В ходе работы был оцифрован ряд участков с термокарстовыми озерами, расположенных в различных физико-географических условиях, и проверена сходимость результатов математического анализа теоретических предположений с экспериментальными данными. Анализ полученных результатов показывает в целом соответствие расчетных и эмпирических данных.

**Ключевые слова:** математическая модель, динамика термокарста, теория случайных процессов, оценка риска.

## Methods of Remote Sensing and Mathematical Morphology of Landscape Implementation in Risk Estimation of Different Engineering Structures Damages due to Thermokarst Processes

V.N.Kapralova

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Moscow*

### Abstract

The way to estimate the risk of engineering structures damaging due to thermokarst processes with the help of methods mathematical morphology of landscape and remote sensing data was suggested. The suppositions which were used as the basis for territories models with thermokarst processes were presented and then substantiated with experimental data. In this work a number of districts from different regions with thermokarst lakes were digitized and theoretical suppositions mathematical analysis correspondence with experimental data was verified. The obtained results analysis shows general correspondence of calculated and empirical data.

**Key Words:** mathematical model, thermokarst development dynamics, random process theory, risk estimation.

### Введение

Оценка риска в условиях развития опасных геологических процессов – одна из актуальных задач геоэкологии. Особенно важна она в быстро изменяющихся природных условиях северных регионов. Наиболее часто мерой риска является один из следующих параметров [Осинов 2009]:

- Вероятность той или иной степени поражения инженерного сооружения опасным геологическим процессом,
- Средний риск - математическое ожидание величины поражения (например, площади или длины) инженерного сооружения опасным геологическим процессом,
- Вероятностное распределение величины поражения инженерного сооружения опасным геологическим процессом (общей величины поражения инженерного сооружения, величины поражения единицы длины и др).

- Предельное значение величины поражения инженерного сооружения опасным геологическим процессом.

Оценке риска поражения инженерных сооружений посвящено много исследований [Осинов 2009; Рагозин 1997; Елкин 2004; Оценка и управление... 2003a,b и др.]. Как правило, оценка риска нужна в момент проектирования сооружений, расположенных на конкретной территории, в конкретных природных условиях. При статистическом подходе исследователь сталкивается с определенными проблемами, поскольку накопление статистики требует значительного времени и это время зачастую сравнимо со временем функционирования сооружения. Главным и наиболее трудным этапом оценки риска является оценка вероятности поражения инженерных сооружений опасным геологическим процессом.

Мы попытались развить и обосновать способ решения данной задачи на территории озерно-термокарстовых равнин для линейных, точечных и площадных объектов с помощью методов математической морфологии

ландшафта, который позволяет перейти к количественной оценке риска.

При использовании предлагаемого подхода задача оценки риска решается для однородного участка, поэтому при применении методов математической морфологии ландшафта любую неоднородную территорию надо предварительно разбить на участки однородные по условиям протекания процессов.

### Математическая модель озерно-термокарстовых равнин

В основе математической модели морфологического строения озерных термокарстовых равнин, развитой в рамках математической морфологии ландшафта, лежат следующие предположения [Викторов 1998]:

1. Процесс появления первичных понижений, вероятностный и на непересекающихся площадках идет независимо.
2. Появление термокарстовых понижений произошла одновременно, вероятность возникновения одного понижения на пробной площадке зависит только от ее площади, и она много больше, чем вероятность возникновения нескольких понижений.
3. Рост размеров озер из-за термоабразионного воздействия происходит независимо друг от друга, он прямо пропорционален запасам тепла в озере и обратно пропорционален площади боковой поверхности озерной котловины, находящейся ниже уровня воды.

Эти предположения позволяют вывести выражения для анализа данных и прогностических построений для территорий с развитием термокарстовых процессов [Викторов 1998]. Полученные выражения включают:

- вероятностное распределение числа термокарстовых озер (k), появившихся на заданном участке за данный интервал времени (процесс Пуассона)

$$P(k, t) = \frac{(\lambda ts)^k}{k!} e^{-\lambda ts}, \tag{1}$$

где  $\lambda$  - среднее число понижений, появляющихся на единице площади за единицу времени; s – размер пробной площадки; t – время;

- вероятностное распределение изменения радиусов термокарстовых озер (винеровский случайный процесс по отношению к логарифмам диаметров)

$$f_r(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x\sqrt{t}}} e^{-\frac{(\ln x - at)^2}{2\sigma^2 t}}, \tag{2}$$

где  $\alpha, \sigma$  – параметры распределения, t – возраст озера.

### Применение математической модели озерных термокарстовых равнин

Апробацию модели мы проводили на 12 тестовых участках (Россия, Канада, США), расположенных в разных физико-географических условиях. При выборе участков руководствовались морфологической однородностью участка и наличием данных дистанционного зондирования на данную область.

Все участки представляют собой тундровые равнины, сложенные среднечетвертными аллювиальными отложениями разной льдистости и расположены на террасах речных долин и морских террасах.

Из модели следует, что в отдельный момент времени, площади озер должны подчиняться логнормальному распределению. Используя специально разработанную программу «Векторизатор», мы оцифровали озера на выбранных участках.

Далее программа автоматически с высокой точностью вычисляет диаметр, площадь, периметр, расположение центра тяжести и другие параметры формы контура. Затем, с помощью программы «Статистика» мы получили соотношение теоретических и эмпирических данных (табл. 1).

Таблица 1. Параметры распределения и их соответствие логнормальному распределению для площадей озер (фрагмент).

Участок	$\chi^2$	Число степеней свободы	Значение критерия $\chi^2$ на уровне значимости 0.95 (0.99)
Участок 1	13,80	5	11,07 (15,09)
Участок 2	5,60	5	11,07 (15,09)
Участок 3	4,02	4	9,49 (13,28)
Участок 4	6,49	4	9,49 (13,28)
Участок 5	3,91	5	11,07 (15,09)

Как видно из таблицы, теоретическое предположение о логнормальности площадей является верным.

Также, из модели следует, что в отдельный момент времени, на случайно выбранной площадке, расположение озер должно подчиняться распределению Пуассона. Исследования были проведены на тех же участках. Для этого в программе «Векторизатор», выделялась область с оцифрованными озерами и производился подсчет количества центров озер, попадающих на случайно выбранную площадку (в данном случае – круга) постоянного размера. Были получены статистические распределения центров озер. Для каждого участка было проведено несколько экспериментов, с кругами разного диаметра. Далее, в программе «Статистика» мы получили параметры распределения и соответствие Пуассоновскому распределению, большинство полученных результатов отвечает распределению Пуассона на уровне значимости 0.95.

## Оценка риска поражения линейного сооружения

Созданные математические модели позволяют решать задачу о поражении рассматриваемым опасным процессом линейного объекта в однородных физико-географических условиях. Так как размеры очагов подчиняются распределению Пуассона, а развитие каждого очага независимо, то, как показано в [Викторов 2006], распределение числа поражений линейного объекта очагами процесса будет представлять собой также распределение Пуассона:

$$P(k, t) = \frac{[2\gamma(t)L\bar{r}(t)]^k}{k!} e^{-2\gamma(t)L\bar{r}(t)}, \quad (3)$$

где  $\bar{r}(t)$  - средний радиус очага в момент времени  $t$ ,  $\gamma(t)$  - средняя плотность расположения очагов,  $L$  - длина объекта.

Параметр этого распределения равен произведению длины линейного сооружения на плотность распределения очагов и их средний диаметр. Отсюда А.С. Викторовым (2006) было получено, что вероятность поражения линейного объекта хотя бы одним очагом равна:

$$P_{dl}(L) = 1 - e^{-2g(t)\bar{r}(t)L}, \quad (4)$$

В процессе проведенных исследований на ряде участков была проведена проверка полученных теоретических выводов.

В основу проверки выражения (4) для оценки вероятности поражения линейного объекта была положена следующая логика. Предположим, что мы находимся на рассматриваемом участке перед началом термокарстового процесса. Так как участок однороден, то у нас нет оснований предпочесть для размещения линейного объекта какое-либо место, и он с равной вероятностью может быть размещен в любой точке участка. Развившиеся впоследствии очаги процесса, которые в настоящее время мы наблюдаем на снимке, могли бы поразить или не поразить линейное сооружение. В силу сказанного реальное развитие событий может быть смоделировано следующим образом - программными средствами с помощью генератора случайных чисел мы размещаем линейный объект (разной длины) случайным образом в пределах выбранного участка (с уже существующими очагами) и затем подсчитываем количество линий, непораженных очагом процесса. Конкретная процедура для проверки формулы (4) была реализована следующим образом: с помощью датчика случайных чисел осуществлялись серии случайных бросаний параллельных отрезков разной длины на участок прямоугольной формы с оцифрованными на ней озерами. Эти линии моделировали расположение линейного сооружения.

Далее подсчитывалось количество линий, пересекших термокарстовые очаги. Полученные значения доли отрезков, непораженных очагом процесса от общего количества бросаний отрезков заданной длины, сравнивались с расчетными, определенными по формуле (функция защищенности, дополнительная к пораженности).

При проведении расчетов возникли некоторые сложности, обусловленные тем, что озера могут сливаться в процессе развития, в то время как выражение получено для случая неслившихся озер. При таком слиянии, меняются параметры распределения: средняя плотность расположения очагов, средняя площадь и средний диаметр очагов. Была сделана попытка учесть слияние озер и пересчитать их количество, «разделив» слившиеся озера. В основу разделения легла визуальная оценка таких озер. Однако, если учесть слияние при подсчете количества озер было возможно, то с пересчетом среднего диаметра и площади, возникли трудности, преодоление которых предполагается в дальнейшем. Тем не менее, даже произведенная ограниченная корректировка позволяет ощутимо улучшить результат (Рис. 1 – после корректировки).

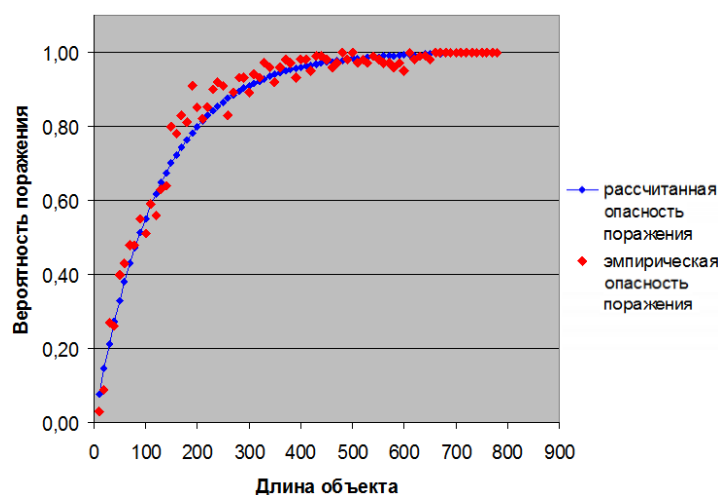


Рис. 1. Сопоставление теоретических и эмпирических значений вероятности поражения термокарстовыми процессами линейного объекта разной протяженности (протяженность – ось абсцисс, вероятность поражения – ординат) для участка 5 после учета слияния озер.

## Оценка опасности поражения площадного инженерного сооружения

Методы математической морфологии ландшафта также позволяют решать задачу количественной оценки поражения озерным термокарстом площадного объекта конечных размеров. Исходя из построений модели (Викторов, 2006), вероятность поражения круговой площадки заданных размеров ( $l$ ) очагами процесса будет равна

$$P(l) = 1 - e^{-\rho g(t)[(\bar{r}(t)+l)^2 + S_r^2(t)]}, \quad (5)$$

где  $S_r(t)$  - стандарт радиуса в момент времени  $t$ .

Измерения проводились на тех же эталонных участках. Для этого в программе «Векторизатор», выделялась область с оцифрованными озерами, и, с помощью датчика случайных чисел осуществлялись серии случайных бросаний площадных объектов (в данном случае – круга), постоянного размера. Эти площадные объекты моделировали расположение сооружений, затем подсчитывалось количество кругов, пересекших термокарстовые очаги. Для каждого участка было проведено несколько серий экспериментов, с кругами разной площади. На большинстве участков было получено согласие теоретических и эмпирических данных.

### Оценка опасности поражения точечного инженерного сооружения

Если рассмотреть площадной объект малых размеров, тогда становится возможным решать задачу о вероятности поражения процессом точечного объекта (Викторов, 2006). Она может быть найдена как предел вероятности поражения кругового площадного объекта конечных размеров при  $l \rightarrow 0$

$$P_d(t) = 1 - e^{-\gamma(t)s(t)}, \quad (6)$$

где  $s(t)$  – средняя площадь очага в данный момент времени.

Механизм проверки схож с вариантом для площадных объектов: на выделенную область с оцифрованными озерами, с помощью датчика случайных чисел, набрасывались точечные объекты, затем подсчитывалось количество точек, находящихся внутри термокарстовых очагов.

Анализ полученных результатов показывает в целом соответствие расчетных и эмпирических данных при расчете риска для линейных, площадных и точечных объектов.

### Выводы

Анализ полученных результатов показывает в целом соответствие расчетных и эмпирических данных.

Полученные результаты позволяют предложить путь оценки риска поражения опасными экзогенными геологическими процессами инженерных сооружений. Он включает следующие основные элементы:

- разделение неоднородного участка на однородные фрагменты,
- использование данных повторной съемки с целью вычисления параметров модели,
- прогнозный расчет средней плотности расположения очагов и среднего диаметра очагов на необходимый временной срок,
- расчет вероятности поражения линейного объекта.

В результате выполненных исследований:

1. Были обоснованы математические модели для оценки риска поражения различных инженерных сооружений опасными экзогенными геологическими процессами на основе математической морфологии ландшафта.
2. Модели проверены экспериментально для территорий с развитием термокарстовых процессов.
3. Показана возможность расчета риска поражения линейных инженерных сооружений опасными экзогенными геологическими процессами, используя данные повторных съемок.

### Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00357).

### Литература

- Викторов А.С. 1998. Математическая морфология ландшафта. – М.: «ТРАТЕК», 180 с.
- Викторов А.С. 2006. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. – М.: Наука, 252с.
- Елкин В.А. 2004. Региональная оценка карстовой опасности и риска (на примере Республики Татарстан). Автореф. дисс. на соиск. ст. канд. геол.-мин. наук. – М.: ИГЭ РАН, 24 с.
- Осипов В.И. Природные опасности и стратегические риски в мире и в России // Экология и жизнь, в. 11–12(96–97), 2009, с.5-15.
- Оценка и управление природными рисками. 2003. Матер. Всерос. конф. "Риск-2003", Т. 1. – М.: Изд. Рос. универ. друж. народов, 412 с.
- Оценка и управление природными рисками. 2003. Тематический том. / Под ред. А.Л.Рагозина. – М.: Изд. фирма «КРУК», 320 с.
- Рагозин А. Л. Основные положения теории опасных геологических процессов и рисков // Новые идеи в науках о земле: тез. докл. – М., Т. 4, 1997, с. 115.

## Методика прогноза температуры начала замерзания и фазового состава засоленных пород п-ова Ямал

Н.В.Кияшко, И.А.Комаров  
 Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
 В.В.Кондаков  
 ООО НТФ «Криос» г. Дмитровград, Россия

### Реферат

Предложены расчетные экспресс – методики для прогноза температуры начала замерзания и содержания незамерзшей воды и льда засоленных пород нефтегазоносных районов п-ова Ямал, разработанные с использованием результатов термодинамического моделирования, данных о химическом составе водных вытяжек порового раствора, статистической обработки литературных данных и собственных экспериментальных результатов. Структура и форма расчетных соотношений разработаны в виде аналогичном таковым, которые приведены в СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», что позволяет использовать их в качестве научных рекомендаций для создания соответствующих региональных и отраслевых нормативных документов.

**Ключевые слова:** засоленные породы, температура начала замерзания, фазовый состав влаги.

## Forecasting Technique of Freezing Temperatures, Amount of Unfrozen Water for Saline Rocks of Yamal Peninsula

N.V.Kiyashko, I.A.Komarov  
 Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
 V.V.Kondakov  
 LLC STC "Krios", Dmitrovgrad city, Russia

### Abstract

Express - methods of calculation for the prediction of the freezing temperatures and unfrozen water and ice content of saline rocks of oil and gas regions of the Yamal Peninsula, that developed using the results of thermodynamic modeling, of data on the chemical composition of water extracts of pore solution, of statistical processing of data in the literature and our own experimental results are proposed. The structure and shape of the calculated ratios are designed as similar to those that are listed in the SP 25.13330.2012 "Soil bases and foundations on permafrost soils," which allows to use them as scientific advice for the establishment of appropriate regional and sectoral regulations.

**Key Words:** saline rocks, freezing temperatures, amount of unfrozen water.

### Введение

Проблема прогноза температурного и водно-солевого режима засоленных пород является актуальной в связи с интенсивным хозяйственным освоением территории п-ова Ямал, где находятся крупные газо - и нефтеносные районы. Для них характерен морской тип засоления поровых растворов, представленный, преимущественно хлоридно-натриевым и хлоридно-сульфатно-натриевым составом. Учет степени засоленности крайне важен и для оценки прочностных и деформационных свойств пород, поскольку они определяют устойчивость фундаментов объектов инфраструктуры нефтегазовых месторождений. Пренебрежение влиянием минерализации поровых растворов может привести к серьезным погрешностям прогнозных расчетов. Обзор расчетных моделей дан в работе [Комаров 2003]. Для реализации прогнозных моделей необходима информация по температуре

замерзания засоленных пород, температурной зависимости их теплофизических свойств, содержанию незамерзшей воды и льда. Проблема совершенствования нормативной базы по оценке этих характеристик для конкретных регионов является приоритетной. С 2013 года введен свод правил - СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» (актуализированная редакция – СНиП 2.02.04-88), в котором учитывается зависимость, указанных выше характеристик от степени засоленности пород (Приложение Б . Физические и теплофизические характеристики мерзлых грунтов - разработчик И.А. Комаров) [СП 25.13330.2012]. Поэтому представлялось целесообразным разработать соотношения для количественной оценки характеристик с учетом структуры и формы представления их в СП 25.13330.2012.



## Методики экспериментального и расчетного определения характеристик, используемые для разработки приближенных аналитических соотношений

Объектами исследования являются засоленные дисперсные супесчаные и суглинистые породы нескольких участков п-ова Ямал Бованенковское, Южно-Тамбейское и Харасавейское месторождения.

Исследования были проведены на базе лаборатории ООО НТФ «Криос», г. Воркута, на экспериментальных установках, разработанных и изготовленных в институте проблем использования природных ресурсов и экологии Национальной академии наук Беларуси (ИПИПРЭ НАНБ) г. Минска.

Для исследования фазового состава и температуры начала замерзания предпочтительно использование методов адиабатической калориметрии. Принцип калориметрической установки в создании адиабатических условий для исключения теплообмена с окружающей средой. Это приводит к более высокой точности относительно других методов. Принцип работы установки для определения содержания незамерзшей воды, основан на регистрации компьютерной системой динамики изменения температуры исследуемого образца в ходе его охлаждения (метод криоскопии). Переохлаждение воды в ходе замерзания сводится к минимуму (не более 0,1...0,3°C) за счет применения в данной установке инициаторов кристаллизации, что в значительной степени снижает погрешности определений.

Для определения химического состава применялись стандартные методики: приготовление водной вытяжки использовалось 100 грамм грунта на 500 мл. воды по ГОСТ 26423-85. Определение pH проводилось по ГОСТ 26423-85. Анализ на карбонаты и бикарбонаты - по ГОСТ 26424-85, в одном растворе. Содержание хлоридов определялось по ГОСТ 26425-85, определение жесткости – по ГОСТ 26428-85 (Ca<sup>2+</sup>; Mg<sup>2+</sup>), определение сульфатов - по ГОСТ 26426-85.

С помощью выше указанных методик были проведены опробования 87 образцов песчаных, супесчаных и суглинистых засоленных пород п-ова Ямал, различной плотности, влажности и степени минерализации.

Натурные определения химического состава водных вытяжек засоленных пород носят, как правило, фрагментарный (одномоментный) характер. Это обуславливают целесообразность применения для выявления закономерностей и прогноза изменения их фазового и химического состава в зависимости от термодинамических условий, современных методов термодинамического моделирования - программа «FREEZBRINE», которая была апробирована и использована для анализа водно-солевого режима засоленных пород и криопэгов [Комаров и др. 2012, Кияшко Комаров 2012]. Программа работает в различных режимах. Мы использовали в режиме "промерзание-оттаивание"

Входными данными является концентрация основных компонентов химического состава водной вытяжки порового раствора. Специфика подготовки данных для ввода в программу заключается учёте валентности и проверке на электро-нейтральность.

При работе с водными вытяжками нетривиальной задачей оказался перевод результатов, действительных для свободного раствора в результаты, действительные для порового раствора. Выходные содержат информацию по содержанию воды, ионов и солей в жидкой, твердой и газообразной фазах, основные термодинамические параметры для выбранного интервала в заданном температурном диапазоне.

## Приближенные расчетные соотношения

Для инженерной практики важно иметь и приближенные расчетные соотношения для оценки свойств засоленных пород. Именно такого рода соотношения обычно используются в нормативной литературе. Для этого данные полученные с помощью программы «FREEZBRINE» были соответствующим образом обработаны и сопоставлены с экспериментальными и расчетными соотношениями для засоленных пород. Экспериментальные данные по химическому, фазовому составу и теплофизическим свойствам грунтов.

### Температура начала замерзания засоленных пород п-ова Ямал

Температура начала замерзания засоленных пород, засоленного дисперсного заполнителя крупнообломочных пород  $T_{bf}$ , (°C), оценивается как аддитивная величина, суммирующая влияние поверхностных сил грунта, концентрации и типа ионного состава порового раствора. В научном аспекте, такое предположение не является строгим, более обоснованным является использование гипотезы об аддитивности величины химического потенциала порового раствора, что реализовано в работе [Комаров, 2003]. Однако, как показывают результаты обработки экспериментальных данных для практических целей допущение об аддитивности может быть использовано, а расчетное соотношение можно представить в виде.

$$T_{bf} = A - B [\Psi \cdot C_{ps} (D_{sal}, W_{tot}) + G \cdot C_{ps}^2 (D_{sal}, W_{tot})], \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, равный температуре начала замерзания незасоленного грунта, д.е.;  $B$  – коэффициент, равный нулю для незасоленных грунтов и единице для засоленных грунтов морского генезиса, д.е.;  $C_{ps} = D_{sal} / (D_{sal} + W_{tot})$  – концентрация порового раствора, д.е.; здесь  $D_{sal}$  – засоленность, д.е.;  $W_{tot}$  – общая влажность, д.е., а  $\Psi$  и  $G$  – эмпирические коэффициенты, д.е.

Результаты обработки экспериментальных данных для пород п-ова Ямал по формуле (1) приведены в табл.1.

Таблица 1

	A	Ψ	G
Пески	0,0	42	40
Супеси	-0,1	42	40
Суглинки, глины	-0,3	50	40

**Фазовый состав влаги засоленных пород п-ова Ямал**

Содержание незамерзшей воды в грунте, если рассматривать его как термодинамическую систему, является экстенсивным параметром и, следовательно, применение гипотезы об аддитивности ее оценки по сумме вклада поверхностных сил грунта и его засоленности является, в целом, обоснованным, что подтверждается экспериментальными данными [Фазовый состав влаги..., 1979]. В СП 25.13330.2012 влажность мерзлого и охлажденного грунта за счет незамерзшей воды ( $W_w$ ), находится по соотношениям (2 - 4):

$$W_w = W_{tot}, 0 > T > T_{bf}, i_{tot} \leq 0,4, (2)$$

$$W_w = W_m, 0 > T > T_{bf}, i_{tot} > 0,4, (3)$$

$$W_w = k_w W_p + \eta D_{sal}, T \leq T_{bf}, (4)$$

где:  $i_{tot}$  - суммарная льдистость мерзлого грунта, которая определяется в соответствии с ГОСТ 25100.2011, д.е.;  $W_T$  - влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями, д.е.;  $k_w, \eta$  - коэффициенты, д.е.;  $W_p$  - влажность грунта на границе пластичности, д.е.

Соотношение (4) используется для обработки опытных данных с целью получить значения коэффициентов  $k_w$  и  $\eta$  для грунтов различных месторождений п-ова Ямал, которые приведены в табл.2 и 3

График, показывающий сходимость эксперимента с расчетными значениями по формуле СП 25.13330.2012 (4) с новыми коэффициентами для супесей (рис. 1) .

Сопоставление экспериментальных данных по фазовому составу и расчетных, полученных с помощью программного продукта показало, что ошибка не превышает 5% для всего спектра исследованных проб водных вытяжек.

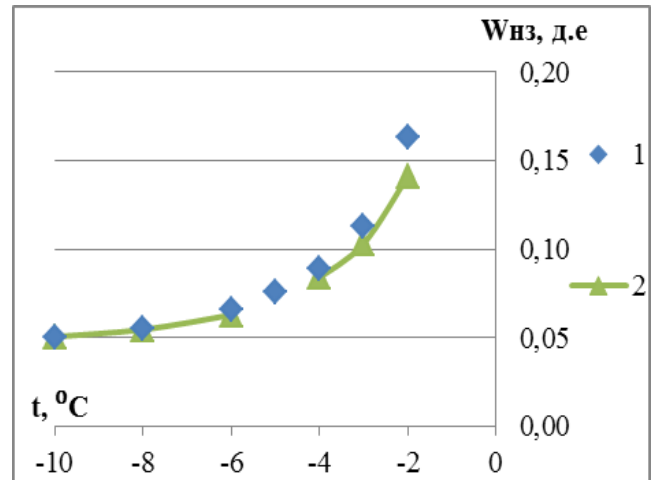


Рис. 1 Сравнение экспериментальных и расчетных данных по количеству незамерзшей воды для супесей (Бованенковское месторождение, глубина 49-50): 1 – экспериментальные данные, 2 – расчет по формуле (4) с коэффициентами  $\eta$  по таблице 2,  $k_w$  по таблице 3

Таблица 2. Значения коэффициентов  $\eta$  для пород различных месторождений п-ова Ямал

Грунты	Число пластичности $I_p$ , д.е.	Величина коэффициента $\eta$ при температуре грунта $T$ , °C, для грунтов:						
		Бованенковского месторождения						
		Южно-Тамбейского месторождения						
		Харасавейского месторождения						
		-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10
Пески и супеси	$I_p \leq 0,02$	55	26	19	14	10	7	6
		60	30	20	15	11	9	7
		54	25	16	12	8	6	5
Супеси	$0,02 < I_p \leq 0,07$	52	25	17	13	9	6,5	5
		57,5	23,5	15,5	12	8	6	5
		-	-	-	-	-	-	-
Суглинки	$0,07 < I_p \leq 0,13$	50,0	23,5	15,5	11,5	7	5,5	5
		45	23	15	11,5	7	5,5	4
		48	21	14	10	6	5	4
	$0,13 < I_p \leq 0,17$	48	21	13	10	6	5	4
		40	22	14	11	7	5	3
		48	21	14	10	6	5	4



Таблица 3. Значения коэффициентов  $K_w$  для пород различных месторождений п-ова Ямал

Грунты	Число пластичности $I_p$ , д.е.	Величина коэффициента $K_w$ при температуре грунта $T$ , °С, для грунтов:						
		Бованенковского месторождения						
		Южно-Тамбейского месторождения						
		Харасавейского месторождения						
		-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10
Пески		0	0	0	0	0	0	0
Супеси	$I_p \leq 0,02$	0,28	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16
	$0,02 < I_p \leq 0,07$	0,22	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15
		-	-	-	-	-	-	-
Суглинки	$0,07 < I_p \leq 0,13$	0,37	0,28	0,25	0,24	0,23	0,21	0,20
		0,37	0,28	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21
		0,36	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21
	$0,13 < I_p \leq 0,17$	0,47	0,37	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
		0,5	0,4	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32
		0,46	0,36	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31

### Литература

Кияшко Н.В., Комаров И.А. О некоторых закономерностях криогенного метаморфизма криопэгов п-ова Ямал // Труды Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». – Томск, 2012 с.451–454

Комаров И.А., Мироненко М.В., Кияшко Н.В. Совершенствование нормативной базы по расчетной оценке теплофизических свойств засоленных пород

и криопэгов // Основания, фундаменты и механика грунтов – М.: 2012 - №2. – С. 25-30

Комаров И.А. Термодинамика и тепломассообмен в дисперсных мерзлых породах. – М.: Научный мир, 2003., 608стр

СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» (актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88)

Фазовый состав влаги в мерзлых породах. – М.: Изд-во МГУ, 1979, 189 с.



## Проникновение льда через пористые среды с жестким каркасом

В.С. Колунин

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

З.А. Ишкова

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Представлены результаты экспериментов по определению температуры, при которой лед проникает через водонасыщенные керамические образцы. Максимальный размер сквозных каналов керамики измеряется на лабораторной установке по продавливанию воздуха через водонасыщенную керамическую пластину (метод точки пузырька). По экспериментальным данным построена корреляционная зависимость между температурой проникновения льда и давлением газа в точке пузырька. Найдена величина коэффициента поверхностного натяжения вода-лед –  $0,039 \text{ Дж/м}^2$ .

**Ключевые слова:** вода-лед; сквозные поры; фазовый переход.

## The Passage Ice Through Porous Media with the Rigid Skeleton

V.S. Kolunin

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

Z.A. Ishkova

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

The results of experiments to determine the temperature at which the ice passages through the water-saturated ceramic samples are presented. The maximum size of the through pores ceramics measured in a laboratory by depression air through a water-saturated ceramic sample (bubble-point method). The correlation dependence between the freezing point of water and values of the pressure of overshoot the first bubble was constructed at the experimental data. It was found that the value the surface tension coefficient of water-ice –  $0.039 \text{ J/m}^2$ .

**Key words:** water-ice; through pores; phase transition.

Проектирование и строительство объектов инфраструктуры в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП) основывается на знаниях физико-механических свойств грунтов и их изменении при переходах из мерзлого состояния в талое и наоборот [Цытович 1973]. При освоении арктических регионов естественный тепловой режим ММП существенно изменяется. В результате основания сооружений могут быть подвержены различным деформациям. Наиболее значительные изменения происходят в сильнольдистых и водонасыщенных мелкодисперсных грунтах при замерзании и оттаивании.

Известно, что при строительстве скважин в криолитозоне возникают осложнения, связанные с протаиванием ММП и их повторным промерзанием. Процессы фазовых переходов происходят при температуре около нуля градусов и при высоких давлениях.

В зоне сезонного промерзания пород образуется сезонномерзлый слой. В зоне распространения ММП их оттаивание в теплый период приводит к образованию сезонноталого слоя. При повторном промерзании

сезонноталого слоя в грунтах возникают большие давления с образованием бугров пучения и пятен-медальонов [Основы геокриологии... 2001].

Фазовые переходы «вода-лед» в пористых средах происходят и на подошве ММП на границе с тальми породами, которые залегают на глубинах до нескольких сот метров. На таких глубинах давление достигает нескольких десятков атмосфер и происходит уплотнение пород.

Установление закономерностей тепломассообменных процессов в промерзающих и протаивающих грунтах является важной составляющей прогноза устойчивости объектов строительства в условиях холодного климата. Для решения этих проблем используется моделирование процессов на экспериментальной установке [Колунин 2011].

Развитию теоретических представлений о миграционных процессах в промерзающих дисперсных породах посвящено большое количество работ российских и зарубежных авторов. В истории изучения морозного пучения грунтов развитию представлений о миграции влаги при промерзании отводится особое

место. К середине XIX века в связи со строительством дорог в Сибири и на Дальнем Востоке возникла острая необходимость выяснить причины морозного пучения. Это удалось сделать Войславу в 1880 г., которым были сделаны два важных вывода: промерзание вызывает миграцию влаги в направлении границы промерзания и величина морозного пучения грунта определяется в основном количеством мигрировавшей влаги.

Одними из первых моделей миграции воды при промерзании являются капиллярная теория [Штукенберг 1894] и близкая ей теория "порового вакуума". Обе теории предполагали, что миграция влаги к фронту промерзания происходит под действием капиллярных сил или пониженного атмосферного давления по капиллярам, трещинам и "порам замерзания", возникающего за счет увеличения объема воды при кристаллизации [Ершов 1979].

К числу весьма важных наблюдений следует отнести обнаружение отставания фронта льдовыделения от фронта промерзания, что вскрыло важную особенность мерзлого грунта – его проницаемость для влаги в области температур интенсивных фазовых переходов.

В современных моделях криогенного текстурообразования в промерзающем грунте выделяются три области: мерзлый грунт, промерзающая зона и талый грунт. Промерзающая зона – переходная область между талым и мерзлым грунтами содержит заметное количество незамерзшей воды и на температурной шкале занимает диапазон менее градуса. Лед в этой области участвует при тепломассопереносе вследствие его движения относительно грунтовых частиц (режелации). Поэтому изучение особенностей капиллярных свойств льда и его распространения в пористых средах с жестким каркасом следует рассматривать как этап построения физически обоснованной теории криогенного текстурообразования промерзающих грунтов [Горелик Колунин 2002].

В работе [Koopmans Miller 1966] представлены результаты экспериментов по определению содержания воды в мерзлых водонасыщенных и талых неводонасыщенных грунтах различной дисперсности в диапазоне температуры от 0 до  $-0,2^{\circ}\text{C}$ . После обработки экспериментальных данных получено отношение коэффициентов поверхностного натяжения «вода-воздух» и «вода-лед», которое оказывается равным 2,20.

В настоящей работе представлены результаты изучения капиллярных свойств водонасыщенной пористой керамики по проникновению через нее льда и воздуха. Объектами исследований служили керамические пластины диаметром  $\sim 30$  мм и толщиной  $\sim 4-6$  мм, которые были обработаны герметиком по боковой поверхности и опрессовывались в пластиковой обойме.

Для определения температуры, при которой лед проникает в керамику, водонасыщенный образец размещен в цилиндрической ячейке, заполненной водой, и делит ее на две половины. Ячейка помещается в термостат при отрицательной температуре вблизи  $0^{\circ}\text{C}$ . После внесения затравки льда в одну из половин ячейки

вода в ней замерзает. Во второй половине вода остается в переохлажденном состоянии. Температура термостата медленно понижается до тех пор, пока лед не проникает в емкость с метастабильной водой. Повышение температуры экспериментальной ячейки вследствие кристаллизации воды регистрируется термодатчиком.

Затем ячейка с образцом извлекается из термостата, выдерживается некоторое время при комнатной температуре и помещается в установку по определению максимального размера сквозного канала по методу точки пузырька [ГОСТ Р 50516-93]. Теоретическая основа данного метода – закон Лапласа, устанавливающий зависимость разности давлений в фазах для искривленной поверхности от диаметра капилляра. Сущность метода состоит в продавливании газа через насыщенную смачивающей жидкостью керамическую пластину.

Для каждого образца определены давления точки пузырька и температура проникновения льда, что соответствует определенной точке на графике (рис. 1). По экспериментальным данным найдена линейная корреляционная зависимость, которая хорошо интерполирует экспериментальные точки.

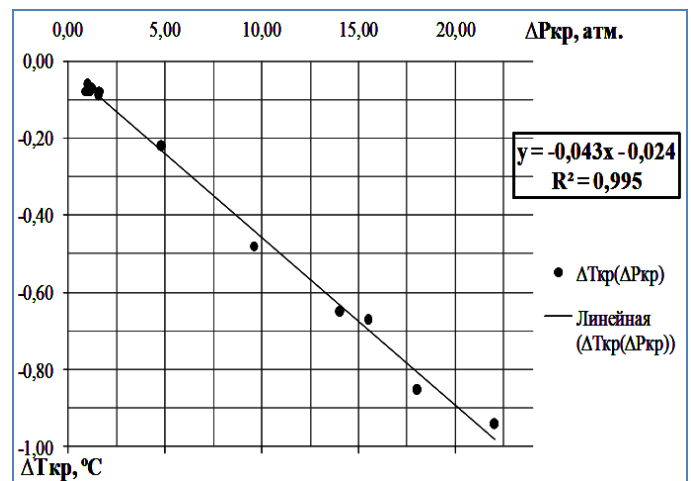


Рис. 1. Корреляционная зависимость давления точки пузырька ( $\Delta P_{кр}$ ) от температуры проникновения льда через образец ( $T_{кр}$ ) различных образцов керамики.

Если принять, что угол смачивания для исследованных фильтров равен нулю, то из корреляционной зависимости и известного значения коэффициента поверхностного натяжения вода-воздух находится коэффициент поверхностного натяжения лед-вода, который оказывается равным  $0,039$  Дж/м<sup>2</sup>.

Согласно известным литературным данным [Горелик Колунин 2002], коэффициент поверхностного натяжения лед-вода зависит от способа измерения и находится в пределах от  $0,033$  до  $0,044$  Дж/м<sup>2</sup>.

## Литература

Горелик Я.Б., Колунин В.С. Физика и моделирование криогенных процессов в литосфере. – Новосибирск, 2002, 317с.

- ГОСТ Р 50516-93. Мембраны полимерные. Метод определения точки пузырька плоских мембран. – М., Госстандарт России, 1993, 8с.
- Ершов Э.Д. Влагоперенос в криогенные текстуры в дисперсных породах. – М.: Изд-во Моск.ун-та, 1979. – 214 с.
- Колунин В.С. Моделирование тепломассообменных процессов в мерзлых породах с подвижной ледовой компонентой // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геол.- минералогич. наук. ИКЗ СО РАН, Тюмень, 2011.
- Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология / Под ред Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 688 с.
- Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 448с.
- Штукенберг В.И. О борьбе с пучинами на железных дорогах // Журн. Министерство путей сообщения. – 1894. - Кн.2. – С. 141-151.
- Coopmans R.W.R., Miller R.D. Soil freezing and soil water characteristic curves // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. – 1966. – 30. – P.680-685.
- Miller R.D., Koslow E.E. Computation of rate of heave versus load under quasi-steady state // Cold Regions Science and Technology. 1980, V. 3. – Pp. 243–251.
- RU 2248552. Десятов А.В., Извольский И.М. Способ определения максимального размера пор мембраны методом пузырька. Опубликовано 20.03.2005.



## Влияние бактерий из многолетнемерзлых пород разного геологического возраста на периферическую кровь и неспецифическую иммунорезистентность

С.С.Колыванова, Л.Ф.Каленова, А.С.Бажин  
Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

### Реферат

В результате проведенного исследования выделены штаммы, способные оказывать как супрессирующее (*Enterobacter sp.* из пород плейстоцен-голоценового периода), так и стимулирующее (*Alcaligenaceae bacterium* из пород позднего неогена и *Bacillus megaterium* и *Acinetobacter sp.* из пород плейстоцен-голоценового периода) влияние на уровень лейкоцитов в периферической крови и фагоцитарную активность макрофагов.

**Ключевые слова:** иммунитет; макрофаги; моноциты; многолетнемерзлые породы; штаммы микроорганизмов.

### The Impact of Bacteria from the Permafrost of Different Geological Age on Peripheral Blood and Nonspecific Immunoresponse

S.S.Kolyvanova, L.F.Kalenova, A.S.Bazhin  
Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS, Tyumen, Russia

### Abstract

A result of research highlighted the strains that can have both a suppressive (*Enterobacter sp.* from the rocks of Pleistocene-Holocene period) and a stimulating (*Alcaligenaceae bacterium* from the rocks of the late Neogene and *Bacillus megaterium* and *Acinetobacter sp.* from the rocks of Pleistocene-Holocene period) effect on the level of leukocytes in peripheral blood and phagocytic activity of macrophages.

**Key Words:** immunity; macrophages; monocytes; permafrost; strains of microorganisms.

### Введение

Разработанный как компонент стратегической безопасности в России Системный экологический мониторинг предусматривает установление причинно-следственных связей между внешними воздействиями, здоровьем и качеством жизни людей; прогнозирование неблагоприятных явлений и процессов; предупреждение, минимизацию или ликвидацию негативных природных и техногенных воздействий [Агаджанян и др 2009]. Здоровье человека в значительной степени зависит от состояния биосферы, все слои которой населяют различные виды микроорганизмов (МО).

Обнаружение сообществ живых микроорганизмов в многолетнемерзлых породах разного геологического возраста и генезиса является свидетельством природной «криоконсервации» древних генов в виде «живых ископаемых» (Омельянский 1911; Абызов с соавт. 1979; Заварзин 1984; Gilichinsky et al. 2007; Stewen et al. 2007; Брушков и др. 2009; Bulat et al. 2009; Wilhelm et al. 2011 и др.). Многолетнемерзлые породы по отношению к микроорганизмам можно рассматривать как криомембрану, способную осуществлять селекцию потомков палеобактерий с высоким адаптивным потенциалом (Калёнова с соавт., 2014).

Связь микромира с современными представителями млекопитающих происходит, в главной степени, через иммунную систему [Покровский 2007]. В настоящее время хорошо изучены закономерности реакций

иммунной системы на известные инфекционные патогены [Покровский 2007], симбионты [Забокрицкий 2014] и пробиотики [Сорокулова 1998]. Известно, что наиболее адаптированными к окружающей среде являются МО. Многочисленные примеры взаимодействия экстремальных условий внешней среды и МО говорят о том, что условия обитания индуцируют свойства, адаптирующие МО к данным условиям [Черешнев 2008]. Реакции иммунной системы на потомков палеобактерий, прошедших длительную эволюцию в изолированных условиях многолетнемерзлых пород и вне контакта с современными экосистемами, представляют несомненный интерес. Учитывая их уникальную выживаемость в криогенной среде, не исключено, что среди них могут быть бактерии с высоким адаптивным потенциалом. Первые исследования по тестированию микроорганизмов из «вечной» мерзлоты на представителях современных экосистем показали, что отдельные штаммы обладают способностью стимулировать фагоцитарную активность простейших гидробионтов [Гнатченко и др 2010, Субботин и др 2010], повышать адаптационный потенциал и продолжительность жизни лабораторных животных [Brouchkov et al 2011, Kalenova et al 2011].

При попадании микроорганизмов в макроорганизм первыми реагируют факторы неспецифической иммунорезистентности, в том числе клетки периферической крови и макрофаги [Казакова 1014,

Черешнев 2001]. Известно, что функциональная активность моноцитов/макрофагов чрезвычайно чувствительна к действию факторов как внешней, так и внутренней среды (Хайтов, 1995), а по способности изменять функциональные показатели организма их можно смело ставить на второе место вслед за стволовыми [Зенков и др 2007].

В этой связи цель нашего исследования – изучить влияние отдельных штаммов бактерий, выделенных из многолетнемёрзлых пород разного геологического возраста, на клеточный состав периферической крови, поглотительную и метаболическую активность макрофагов.

## Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны 4 штамма микроорганизмов. Из ММП плейстоцен-голоценового периода (возраст пород 35-40 тыс. лет, район Тарко-Сале Западной Сибири) использовали 3 штамма бактерий – *Bacillus megaterium*, *Acinetobacter sp.* и *Enterobacter sp.*. Из реликтовых ММП позднего неогена (опорный разрез Мамонтова гора в Центральной Якутии, возраст пород 3,5-2 млн. лет) использовали штамм *Alcaligenaceae bacterium*.

Эксперимент проведён на 60 мышах F1 CBA/Black-6, ♂, весом 18-21 г, разделенных на 5 равных групп. Взвеси бактерий вводили мышам внутрибрюшинно однократно в дозе  $50 \cdot 10^3 \pm 2,3 \cdot 10^3$  микробных клеток (м.кл.) в 100 мкл. физиологического раствора. Контрольным животным вводили 100 мкл. физиологического раствора. Исследования проводились на 14 сутки после введения МО.

В периферической крови определяли уровни эритроцитов, гемоглобина, лейкоцитов и их популяционный состав на гематологическом анализаторе PCE-90Vet (High Technology, USA). Фагоцитарную активность макрофагов селезенки оценивали двумя способами: по способности макрофагов, адгезированных на стекле, к поглощению (ФП,%) инактивированных дрожжевых клеток и метаболизму радикалов кислорода в спонтанном варианте НСТ-теста (НСТ, %) (Назаренко Г.И., Кишкун А.А., 2000) [7].

Все манипуляции с животными проведены в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Приложение к приказу МЗ СССР №755 от 12.03. 1977 г.) и «Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETSN №123, Страсбург, 18 марта 1986 года). Достоверность различий между группами оценивали по t-критерию Стьюдента в программе SPSS «11,5 for Windows».

## Результаты и обсуждение

Под влиянием всех изученных штаммов МО содержание эритроцитов и гемоглобина в периферической крови сохранилось на контрольном уровне, что подтверждает отсутствие гемолитической активности у данных штаммов бактерий *in vivo*. Общий

уровень лейкоцитов также не изменился под влиянием исследуемых штаммов, что демонстрирует отсутствие воспалительного процесса.

Однако популяционный состав лейкоцитов периферической крови подвергся некоторым изменениям. Наиболее значимое влияние на него оказал штамм *Bacillus megaterium* – снижение количества нейтрофильных гранулоцитов ( $p < 0,01$ ) и моноцитов ( $p < 0,01$ ). *Acinetobacter sp.* вызвал некоторое увеличение уровня лимфоцитов ( $p < 0,05$ ) и снижение численности нейтрофилов и моноцитов ( $p < 0,05$  в обоих случаях). Штамм *Enterobacter sp.* оказал влияние только на количество лимфоцитов, повысив данный показатель ( $p < 0,05$ ). Штамм *Alcaligenaceae bacterium* из ММП позднего неогена не оказал достоверного влияния на популяционный состав циркулирующих лейкоцитов.

По результатам исследования функциональной активности макрофагов один штамм (*Enterobacter sp.*) из ММП плейстоцен-голоценового периода оказал супрессирующее влияние на метаболическую активность макрофагов ( $p < 0,01$ ). Известно, что снижение активности метаболизма макрофагами может сопровождаться снижением способности к перевариванию МО, антигенпрезентации и синтезу цитокинов и как следствие – угнетению их функции регуляции активности иммунной системы в целом [Назаренко Кишкун 2000]. Остальные штаммы – два из ММП плейстоцен-голоценового периода (*Bacillus megaterium* и *Acinetobacter sp.*) и один (*Alcaligenaceae bacterium*) из ММП позднего неогена – оказали в той или иной степени выраженное стимулирующее влияние на фагоцитарную активность макрофагов селезенки – поглотительную (ФП, %) и метаболическую (НСТ, %), что, в свою очередь, может способствовать повышению общей иммунореактивности [Назаренко Кишкун 2000].

Таким образом, проведенное исследование показало, что микроорганизмы, выделенные из ММП, оказывают влияние на клеточный состав периферической крови и функциональную активность макрофагов. Так, на 14-е сутки под влиянием практически всех изученных штаммов микроорганизмов произошло в той или иной степени выраженное снижение уровня моноцитов в периферической крови. Вследствие чего можно предположить 2 варианта развития событий: 1) исследуемые бактерии способствовали снижению активности дифференцировки миелоидных предшественников в моноциты в костном мозге и/или 2) – циркулирующие моноциты мигрировали из периферической крови в ткани, где они, как известно, трансформируются в резидентные макрофаги и тем самым повышая иммунную защиту организма.. Учитывая, что функциональная активность макрофагов селезенки значительно возросла под влиянием большинства изученных штаммов бактерий (*Alcaligenaceae bacterium*, *Bacillus megaterium*, *Acinetobacter sp.*), вероятность второго предположения увеличивается (рис. 1).

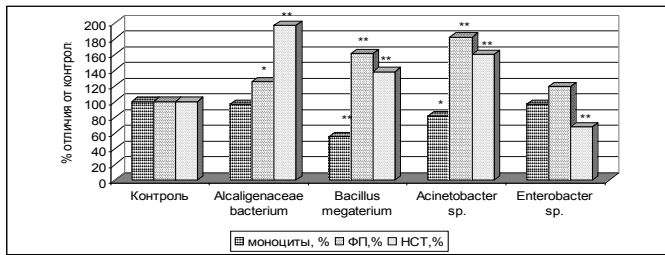


Рис. 1. Сравнение влияния МО ММП на количество и функциональную активность моноцитов/макрофагов

Примечание: достоверность отличия показателей в опытной группе от контрольного уровня \* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ .

Используемые в данном исследовании методы не позволили выявить однозначных различий в реакциях иммунной системы современных млекопитающих на микроорганизмы из многолетнемерзлых пород позднего неогена (*Alcaligenaceae bacterium*) и плейстоцен-голоценового периода (*Bacillus megaterium*, *Acinetobacter sp.*, *Enterobacter sp.*). Однако было показано, что штаммы *Alcaligenaceae bacterium*, *Bacillus megaterium*, *Acinetobacter sp.* из ММП могут оказывать иммуностимулирующее действие в дозе  $50 \cdot 10^3$  м.кл. Наибольшее внимание обращает на себя штамм *Alcaligenaceae bacterium* из пород позднего неогена, т.к. под его воздействием показатели периферической крови сохранились на контрольном уровне, а показатели поглотительной и метаболической активности повысились. Данный эффект сходен с действием пробиотиков на основе современных штаммов *Bacillus subtilis* и *Lactobacillus plantarum*, однако их терапевтическая доза на 1-2 порядка выше [Забокрицкий 2014]. Полученные данные могут свидетельствовать о том, что среди сообществ микроорганизмов из многолетнемерзлых пород могут быть штаммы со свойствами пробиотиков и иммуностимуляторов. Таким образом, изучение потомков палеобактерий из многолетнемерзлых пород носит перспективный характер, так как они могут рассматриваться как объекты, способные увеличить адаптивный потенциал современных живых систем.

## Литература

- Агаджанян, Н.А. Системный экологический мониторинг как компонент стратегической безопасности / Н.А. Агаджанян, О.И. Аптикаева, Г.А. Гамбурцев, Е.А. Жалковский, Ф.А. Летников, В.Н. Расторгуев, П.И. Сидоров, В.А. Черешнев, Ф.Н. Юдахин // Приложение к журналу “Безопасность жизнедеятельности”. – 2009. – № 9. – С. 1-24.
- Гнатченко, Л.Н. Последствия воздействия реликтовых микроорганизмов и их внеклеточных метаболитов на инфузорий (*Paramecium caudatum*). / Л.Н. Гнатченко, Г.А. Петухова, А.М. Субботин // Материалы международной конференции “Проблемы экологии: чтения памяти проф. М.И. Кожова”. — Иркутск, 2010. — С. 399.

Забокрицкий Н.А. Обоснование направлений в разработке и экспериментальном изучении новых фармакологических препаратов на основе пробиотиков и их биологически активных продуктов. дисс. ... д-ра медицин. наук. Екатеринбург, 2014. – 488 с.

Забокрицкий, Н.А. Разработка экспериментальных образцов новых пробиотических препаратов для наружного применения на основе трансдермальных терапевтических систем / Н.А. Забокрицкий, О.В. Коломиец // Вестник. – 2014. – Т.16(6) – С. 26-40.

Зенков, Н.К. Механизмы активации макрофагов / Н.К. Зенков, Е.Б. Меньщикова, В.А. Шкурупий // Успехи современной биологии. – 2007. – №3(127). – С. 243-256.

Казакова, И.А. Механизмы влияния макрофагов на репаративную регенерацию. автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2014. – 25 с.

Назаренко, Г.И. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований / Г.И. Назаренко, А.А. Кишкун. – М.: Медицина, 2000. – 544 с.

Покровский В.И. Инфекционные болезни и эпидемиология / Учебник для ВУЗов. — 2-е изд. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. — 816 с.

Сорокулова, И.Б. Влияние пробиотиков из бацилл на функциональную активность макрофагов / И.Б. Сорокулова // Антибиотики и химиотерапия. — 1998. — №2. — С. 20–23.

Субботин, А.М. Влияние бактерий рода *Bacillus* на гидробионтов (*Paramecium caudatum*) / А.М. Субботин, Л.Н. Гнатченко, Г.А. Петухова // В сб. научных трудов «Фундаментальные науки и практика». – Т.1, №1. – Томск, 2010. – С.84-85.

Фрейдлин, И.С. Клетки иммунной системы. Моноциты: монография / И.С. Фрейдлин, А.А. Тоголян. – СПб.: Наука. – 2000. – 100 с.

Черешнев, В.А. Иммунология воспаления: роль цитокинов / В.А. Черешнев, Е.Ю. Гусев // Медицинская иммунология. – 2001. – Т.3, № 3. – С. 361-368.

Черешнев В.А. Системный экологический мониторинг и здоровье / Микробное разнообразие: состояние, стратегия сохранения, биотехнологический потенциал / Материалы III Международной конференции. Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН. – Пермь, 2008. – С. 107-108.

Brouchkov A. V. Relict Microorganisms of Cryolithozone as Possible Objects of Gerontology / A. V. Brouchkov, V. P. Melnikov, Yu. G. Sukhovei, G.I. Griva, V.E. Repin, L.F. Kalenova, E.V. Brenner, A.M. Subbotin, Y.B. Trofimova, M. Tanaka, T. Katayama, M. Utsumie // Advances in Gerontology. – 2011. – V. 1, № 1. – P. 39-44.

Kalenova, L.F. Effects of permafrost microorganisms on the quality and duration of life of laboratory animals / L.F. Kalenova, Yu.G. Sukhovei, A.V. Brushkov, W.P. Melnikov, T.A. Fisher, I.M. Besedin, M.A. Novikova, Yu.A. Efimova // Neuroscience and Behavioral Physiology. – 2011. – V. 41, № 5. – P. 484-490.

## Методика прогноза температуры начала замерзания и фазового состава криопэгов п-ова Ямал

И.А.Комаров, Н.В.Кияшко  
Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

### Реферат

Предложены расчетные экспресс - методы для прогноза температуры начала замерзания и содержания незамерзшей воды в криопэгах п-ова Ямал, разработанные с использованием программного продукта и данных о химическом составе проб криопэгов. Указано на неоднозначность использования термина «незамерзшая вода» при экспериментальном определении параметров фазового равновесия влаги в засоленных породах.

**Ключевые слова:** засоленные породы, криопэг, температура начала замерзания, фазовый состав, прогноз свойств, программный продукт.

## Forecasting Technique of Freezing Temperatures and Amount of Unfrozen Water for Cryopegs of Yamal Peninsula

I.A.Komarov, N.V.Kiyashko  
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

### Abstract

Express - methods of calculation for the prediction of the freezing temperatures and unfrozen water and ice content for cryopegs of the Yamal Peninsula, that developed using program product, and data of the chemical composition of cryopegs test portion. The ambiguity of the term "unfrozen water" when in use the experimental determination of parameters of phase equilibrium moisture in saline rocks are described.

**Key Words:** saline rocks, cryopeg, freezing temperatures, amount of unfrozen water, prediction of properties, program product.

### Введение

В связи с интенсивным хозяйственным освоением территорий п-ова Ямал, для ряда которых характерен морской тип засоления, возникает необходимость оценки температурного и водно-ионного режима мерзлых засоленных пород и криопэгов в естественных условиях и при техногенном воздействии, поскольку от температурного и водно-ионного режима зависят инженерно-геокриологические свойства засоленных мерзлых грунтов, несущая способность грунтовых оснований и коррозионная активность мерзлых засоленных пород и т.д. Основная проблема при использовании расчетных методик – это адекватный выбор входных параметров, прежде всего температуры начала замерзания и фазового состава влаги в засоленных мерзлых породах, вмещающих криопэги.

Изменение термобарических условий обуславливает проявление процесса криогенного метаморфизма поровых растворов и криопэгов. Под криогенным метаморфизмом понимается совокупность физико-химических процессов, как: кристаллизация воды и плавление льда; осаждение и растворение солей; удаление и поглощение газов; изменение состояния солевых равновесий; образование ячеек льда с включенным в структуру рассолом; перераспределение солей между твердой и жидкой фазами воды [Иванов 1998]. Промерзание песчаных пород сопровождается, как

правило, частичным отжиманием порового раствора из зоны кристаллизации и его концентрированием. Этот процесс может приводить к образованию линз высокоминерализованных криопэгов. Сложности и многообразие химического состава природных засоленных растворов, крайне затрудняет экспериментальное исследование процессов криогенного метаморфизма. Так в лабораторных условиях подробно исследован этот процесс только для морской воды. Натурные определения химического состава водных вытяжек и проб криопэгов носят, как правило, единичный (за сезон) и фрагментарный характер. Это обуславливают целесообразность применения для исследования и прогноза изменения величин соответствующих характеристик других методов, в первую очередь, современных методов термодинамического моделирования.

### Специфика экспериментального нахождения параметров фазового равновесия в засоленных породах

При реализации экспериментальных лабораторных методов калориметрического, криоскопического, сублимационного, контактного, нахождения величины общей влажности  $W_{tot}$  и зависимости содержания незамерзшей воды  $W_w$  от температуры  $t$  в образцах засоленных пород, обычно осуществляют расчетным путем, как масса испаренной в сушильных шкафах воды



к массе сухой навески образца. На самом деле, реально определяется весовое содержание растворителя  $H_2O$ , т.е. величин  $W_{tot\ H_2O}$  и  $W_w\ H_2O$ , соответственно. Эти величины по абсолютной величине будут меньше, чем содержание жидкой фазы. При больших степенях засоления  $D_{sal}$  эта разница может достигать 15% и более. Кроме того, небольшая часть воды, может переходить в кристаллическую структуру выпадающих солей, например, мирабилита ( $Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$ ) и др., часть в виде гидраксильных групп. Таким образом, если величина  $W_{tot}$  и содержание незамершей воды  $W_w$  определялись весовым методом, путем испарения влаги в сушильном шкафу, то величина  $W_w(t)$  в прямом (буквальном) смысле использования термина «незамерзшая вода» обозначает ту часть жидкой фазы порового раствора (растворитель), которая может потенциально перейти в лед. Это приводит к неоднозначности применения термина «незамерзшая вода» для оценки содержания жидкой фазы в засоленных мерзлых и охлажденных породах.

Различие в содержании жидких фаз порового раствора и растворителя ( $H_2O$ ), часто игнорируется при экспериментальном нахождении характеристик пород. В тоже время от содержания жидкой и твердой фазы влаги в засоленных породах и криопэгах существенно зависит величина теплофизических, прочностных и деформационных свойств мерзлых пород. Для засоленных пород применимость ряда методов, определения величины температуры начала замерзания  $t_{bf}$  и зависимости  $W_w = f(t)$ , которые используются для незасоленных пород, становится проблематичной. Так, существенно возрастает погрешность нахождения указанных характеристик с помощью криоскопического метода и требуется серьезное усложнение методики обработки термограмм оттаивания, включающей проведение итерационного вычислительного процесса [Комаров, 2003]. Метод ЯМР, основанный на воздействии импульсов изменения электромагнитного поля на мерзлый образец пород, очень чувствителен к влиянию любых парамагнитных примесей, а методы криоскопический, сублимационный и диэлектрической проницаемости нуждаются в модификации методики проведения и обработки данных. При реализации методов калориметрии необходимо учитывать, что теплоемкость поровых растворов и величина их скрытой теплоты фазовых переходов отличаются от их значений для воды, завися от  $t$ , химического состава и концентрации порового раствора. Эти данные, в частности, получены, на базе исследований проведенных с помощью дифференциального сканирующего калориметра "Mettler" [Комаров 2003].

### Используемый программный продукт

Теоретические модели слабо и средне концентрированных природных растворов описывают фазовые равновесия с помощью теории Дебая-Хюккеля. В криопэгах и поровых растворах засоленных пород при низких температурах, минерализация растворов может достигать величин 250 г/л и более. При высоких концентрациях химическая природа ионов начинает

играть важную роль, хотя её существенное проявление наблюдается в экспериментах даже при достаточно низкой ионной силе. Для вычисления фазового и химического равновесия между водными растворами электролитов, льдом и солями, в широком диапазоне концентраций плодотворными показали себя методы статистической термодинамики К. Питцера [Pitzer, 1987]. Используя их в лаборатории CRELL (США) по заказу НАСА для исследования поведения растворов солей, была разработана термодинамическая модель «FREZCHEM» и ее программные модификации. Для 7-компонентной системы  $Na-K-Ca-Mg-Cl-SO_4-H_2O$  ее описание приведено в работе [Mironenko и др. 1997]. Адаптируя эту модель для криопэгов с доминирующим содержанием хлоридов в работе [Комаров Волков 2007] предложена методика оценки температуры формирования их ионно-солевого состава по кривой десульфатизации, температурной зависимости концентрации сульфат-иона, как наиболее информативного компонента раствора. В тоже время, для анализа данных большого спектра химического состава природных водных вытяжек и проб криопэгов кроме указанных семи компонентов, необходимо учитывать также наличие карбонатов, бикарбонатов и соответствующих солей кальцита, доломита, гипса, соединений железа и т.д., наличие газовой фазы, в частности,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ . Физическая картина протекающих в природе процессов указывает на целесообразность учета: давления вышележащих пород; ситуации, когда криопэг обмениваются каким-то компонентом с окружающей средой (режим открытой системы) и когда при промерзании из порового раствора породы или криопэга выпадают образованные твердые фазы солей, которые при повышении температуры не переходят обратимо в жидкую фазу. Указанных ограничений лишена программа «FREEZBRINE», которая была апробирована и использована для анализа водно-солевого режима засоленных пород и криопэгов [Комаров Мironenko 2010; Комаров и др. 2012]. Она включает в себя следующие химические компоненты, которые могут быть образованы в системе: раствор (23 компонента), включающий катионы, анионы и нейтральные:  $Na$ ,  $K$ ,  $Ca$ ,  $Mg$ ,  $Cl$ ,  $SO_4$ ,  $HCO_3$ ,  $H_2O(l)$ ,  $CaCO_3(aq)$ ,  $MgCO_3(aq)$ , и др.; твердые фазы (56 компонентов):  $H_2O(cr,l)$ ,  $NaCl \cdot 2H_2O$ ,  $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ,  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , SYLVITE, CALCITE, MAGNESITE, DOLOMITE и др.; газы (8 компонентов):  $H_2O(g)$ ,  $CH_4(g)$ ,  $CO_2(g)$ , и др. Равновесный состав системы ищется методом минимизации свободной энергии Гиббса на множестве линейных ограничений в виде системы уравнений баланса масс и электронейтральности. Количественные характеристики по основным солям откалиброваны по данным работы соляной лаборатории АН СССР [Гиттерман 1947]. При верификации использовались данные по 48 криопэгам, полученные Л.Н. Крицук и И.Д. Стрелецкой для п-ова Ямал [Крицук 2010]. Входные данные в программу: исходная общая минерализация и концентрация основных компонентов химического состава водной вытяжки порового раствора или пробы криопэга полученные на основании

химического анализа. Выходные данные включают информацию: содержание воды, ионов и солей в жидкой, твердой и газообразной фазах; плотность и объемы фаз; pH растворов; химический потенциал и др., которые рассчитаны для определенного интервала и заданного шага по температуре или давлению.

### Методика прогноза температуры начала замерзания и фазового состава криопэггов п-ова Ямал с помощью экспресс-методик

С помощью программы «FREEZBRINE» предложена методика прогноза изменения температуры начала замерзания, фазового состава, плотности и pH, теплофизических свойств засоленных пород и криопэггов для двух случаев [Комаров и др. 2012]. Первый - когда имеется информация о химическом составе пробы и программный продукт. Второй - когда имеется информация только об общей минерализации пробы криопэга М (г/л), а программный продукт отсутствует. Тогда для оценки величин  $W_w = f(t)$ ,  $t_{bf}$ , плотности криопэга ( $\rho_w$ ), предлагаются приближенные инженерные расчетные соотношения, которые могут быть использованы как научные рекомендации для создания нормативных и отраслевых документов.

Для оценки зависимости температуры начала замерзания от общей минерализации криопэггов использовалась степенная форма зависимости  $t_{bf}$  от величины минерализации:

$$t_{bf} = -10^{-3} \cdot (\Theta \cdot M + 0,04 \cdot M^2), \quad 5 < M < 150 \quad (1)$$

где  $\Theta$  - коэффициент, зависящий от расположения криопэга:  $\Theta = 50,0$  для лайды;  $\Theta = 55,8$  для поймы;  $\Theta = 58,9$  для морских террас.

Статистическая обработка показала, что данные при разделении по принципу лайды-террасы-поймы, укладываются в доверительный интервал  $x \pm s$ . В области значений  $M = 35$  г/л температура начала замерзания для криопэггов, расположенных на лайдах, близка к таковой для морской воды.

Для двух характерных диапазонов температурной кривой изменения фазового состава предложены расчетные формулы, аппроксимированные степенной и логарифмической зависимостями при условии «сшивки» уравнений при  $t = -22,5^\circ\text{C}$ , которая получена статистической обработкой расчетов для разных минерализаций и химического состава криопэггов. Характерный вид зависимости  $W_w = f(M, t)$  представлен на рисунке 1. При понижении температуры в криопэге могут образовываться минералы мирабилита, кальцита, и др. Для практических целей целесообразно учитывать только влияние выпадения гидрогаллита ( $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Соотношения имеют вид:

$$W_w(M, t) = W_{\text{tot H}_2\text{O}} = 1; \quad 0 > t > t_{bf}; \quad 5 \leq M \leq 130 \quad (3)$$

$$\frac{W_w(M, t) - W_w(M, -22,5)}{W_w[t_{bf}(M)] - W_w(M, -22,5)} = \left( \frac{t + 22,5}{t_{bf}(M) + 22,5} \right)^N$$

$$t_{bf} \geq t \geq -22,5; \quad 5 \leq M \leq 130; \quad (4)$$

$$\frac{W_w(M, -22,5) - W_w(M, t)}{W_w(M, -22,5)} = \exp \left[ \Psi \cdot \left( \frac{22,5}{t(M) + 22,5} \right) + E \right]$$

$$t \leq -22,5; \quad 5 \leq M \leq 130, \quad (5)$$

где  $W_w(M, t)$ ,  $W_w[t_{bf}(M)]$ ;  $W_w(M, -22,5)$  – осредненные значения содержания незамерзшей воды, соответственно при текущей температуре  $t$ , температуре начала замерзания  $t_{bf}$  и  $t = -22,5^\circ\text{C}$ , в д.е.;  $N$ ,  $E$  и  $\Psi$  - безразмерные эмпирические коэффициенты, определяемые по таблице 1. Плотность криопэггов ( $\rho_w$  (г/см<sup>3</sup>)) рассчитывается по соотношению:

$$\rho_w(M, t) = 1,03 + 10^{-3} [ (0,92 - 0,007 \cdot t) \cdot (M - 35) ];$$

$$0 > t > t_{bf}; \quad 5 \leq M \leq 130 \quad (6)$$

Таблица 1. Значения параметров  $N$ ,  $W(t_{bf})$ ,  $W(-22,5)$ ,  $\Psi$  и  $E$  в уравнениях (4) и (5)

	Параметр	$10 \leq M < 35$	$35 \leq M < 70$	$70 \leq M \leq 130$
Лайды	N	6,1	3,0	2,5
	$W(t_{bf})$	0,99		
	$W(-22,5)$	0,1	0,2	0,3
	$\Psi$	-0,01		
	E	-0,20		
Террасы	N	5	4,5	-
	$W(t_{bf})$	0,85	0,99	-
	$W(-22,5)$	0,01	0,15	
	$\Psi$	-0,02		
	E	-0,7	-0,8	-
Поймы	N	8,0	4,0	2,8
	$W(t_{bf})$	0,99		
	$W(-22,5)$	0,02	0,2	0,3
	$\Psi$	-0,03	-0,02	-0,01
	E	-1,8	-1,1	-0,85

В случае, когда модель криопэга представляется в виде линзы рассола, то суммарное содержание льда и незамерзшей воды составляет  $W_{\text{tot H}_2\text{O}} = 1$ , а объемная влажность равна произведению  $W_{\text{tot H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}$ , где  $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$  – плотность растворителя. Однако общее содержание жидкой фазы при условии  $0 > t > t_{bf}$  будет большим, составляя величину произведения  $W_w(M, t) \cdot \rho_w(M, t)$ . В случае, когда модель криопэга представляется как рассол в поровом пространстве пород (обычно песчаных), величина  $W_w(M, t)$  при условии  $0 > t > t_{bf}$  задается исходя из экспериментального определения. Следует отметить, что у незасоленных песков (особенно пылеватых) имеет место существенное различие в величинах  $W_{\text{tot H}_2\text{O}}$  и  $W_w(t_{bf})$ , обусловленное тем, что в крупных порах замерзает часть поровой влаги, которая энергетически наименее связана. В засоленных песках вся влага находится в поле действия растворенных ионов

и, поэтому, содержание  $W_w(t_{bf})$  не сильно отличается от  $W_{tot20}$ .

### Выводы

1. При экспериментальном нахождении величин  $W_{tot}$  и  $W_w(t)$  весовым методом, величина  $W_w(t)$  в буквальном смысле использования термина «незамерзшая вода» обозначает ту часть жидкой фазы порового раствора (растворитель), которая может потенциально перейти в лед. Содержание жидкой фазы будет большим.

2. При наличии данных по валовому химическому составу пробы криопэга, оценку величин  $t_{bf}(M)$ ,  $W_w(M, t)$ ,  $\rho_w(M, t)$ , pH и др. целесообразно проводить используя программу «FREEZBRINE».

3. При наличии данных по общей минерализации пробы криопэга (в том числе методом электропроводности) и отсутствии программного продукта оценку величин  $t_{bf}(M)$ ,  $W_w(M, t)$  и  $\rho_w(M, t)$  можно проводить по соотношениям (2) – (6).

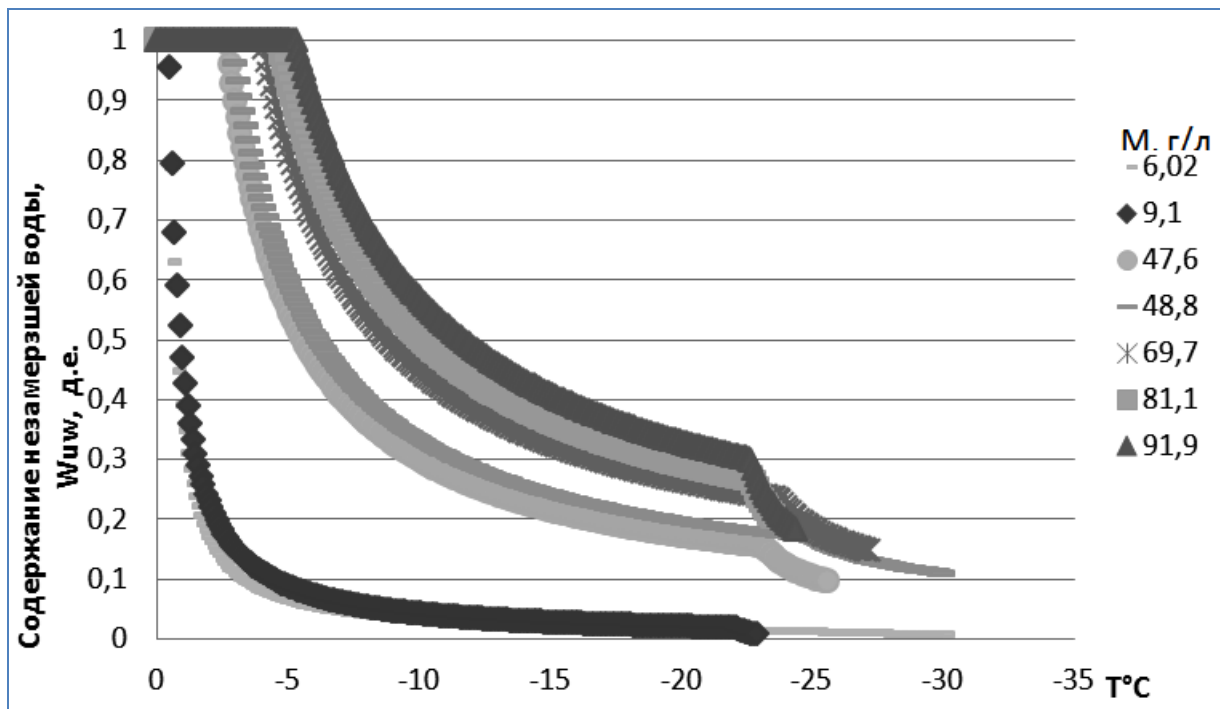


Рис. 1 Зависимость содержания незамерзшей воды от температуры и минерализации криопэгов

### Литература

Гиттерман К.Э. Термический анализ морской воды (концентрирование соляных растворов естественным вымораживанием) // Тр. Соляной лаб. АН СССР. – Вып. 15. – Ч.1.– М., – 1937.– С. 5-  
Иванов А.В. Криогенная метаморфизация химического состава природных льдов, замерзающих и талых вод. Хабаровск. Дальнаука, 1998, 164с  
Комаров И.А. Термодинамика и тепломассообмен в дисперсных мерзлых породах. М.: Научный мир, 2003., 608стр  
Комаров И. А., Волков Н.Г., Методика прогноза температурного и водно-ионного состав засоленных пород и криопэгов // Проблемы строительства на засоленных грунтах. – М., 2007.– С. 147-183.  
Комаров И.А., Мироненко М.В. Моделирование водно-ионного состава засоленных мерзлых пород и криопэгов при изменении термобарических

условий.// Труды Международной конференции «Актуальные направления развития прикладной математики в энергетике и информационно-коммуникационных технологиях» М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, с. 23-29

Комаров И.А., Мироненко М.В., Кияшко Н.В. Совершенствование нормативной базы по расчетной оценке теплофизических свойств засоленных пород и криопэгов // Основания, фундаменты и механика грунтов – М.: 2012 - №2. с. 25-30  
Крицук Л.Н. Подземные льды Западной Сибири. – М.: Научный мир, 2010, – 351 с.  
Mironenko M.V., Grant S.A., Marion G.M., Farren R.E. FREZCHEM2, A Chemical Thermodynamic Model for Electrolyte Solutions at Subzero Temperatures // October, 1997. 40 p.  
Pitzer K.S. A thermodynamic model for aqueous solutions of liquid-like density. Reviews in Mineralogy, 17, 1987. p. 97-142

## О сезонных охлаждающих устройствах

А.А.Коновалов

Институт проблем освоения Севера СО РАН, Тюмень

### Реферат

Обсуждаются конструктивные решения, особенности и технологические схемы применения воздушных и жидкостных сезонных охлаждающих устройств. Предложен способ расчета прочности охлаждаемых мерзлых грунтовых оснований сооружений.

**Ключевые слова:** Естественные ресурсы, искусственное охлаждение, мерзлый грунт, прочность.

### About Seasonal Cooling Devices

A.A.Konovalev

Institute of problems of development of the North, SB RAS, Tyumen, Russia

### Abstract

Discuss constructive solutions, features and technological schemes of application of air and liquid seasonal cooling devices. A method is proposed for calculating the strength of a cooled frozen soil foundations of structures.

**Key Words:** artificial cooling, natural resources, strength, frozen soil.

В последние годы наметилась устойчивая тенденция к повышению температуры вечномерзлого грунта и уменьшению его несущей способности как оснований инженерных сооружений. Причиной этого являются как объективные, астрономические факторы ( ритмика оси вращения Земли, солнечной активности и Солнечной системы в целом ), на которые невозможно повлиять, так и субъективные (влияние человека) . Первые, пока преобладают. В то же время большинство зданий и сооружений на Севере построено с сохранением грунтовых оснований в мерзлом состоянии в течение всего срока их службы. В этих условиях большое практическое значение приобретает разработка экономичных способов повышения прочности мерзлых грунтов, прежде всего, путем его охлаждения с использованием естественных ресурсов: холодного воздуха, перепада температур грунта и воздуха, ветра. На этой основе работают сезонные охлаждающие устройства – СОУ. Они представляют собой заглубленные цилиндрические емкости, заполненные воздушным, жидким или паро-жидким хладоносителем. Отрицательный перепад температур воздуха и грунта зимой, вызывает конвективный теплообмен, ведущий к понижению температуры грунта. В парогазостных СОУ он усиливается фазовыми переходами хладоносителя. По форме охладителей, и соответственно, размерам зоны теплового воздействия, можно выделить *СОУ локального (радиального)* и *сплошного действия*. К первым относятся вертикальные и горизонтальные трубчатые охладители, в которых используются все упомянутые хладоносители. Ко вторым: **а) проветриваемое подполье**, защищающее поверхность грунта от отепляющего воздействия снежного покрова и солнечной радиации и **б) вертикальные траншеи, щели**, через которые прогоняют

холодный воздух. Доклад посвящен воздушным и жидкостным СОУ.

**Воздушные СОУ** – экологически наиболее чистые и дешевые, но по эффективности уступают другим типам СОУ. Повышение их эффективности достигается побуждением циркуляции хладоносителя с помощью ветровой или электрической энергии. В обоих случаях эти СОУ представляют собой скважину, разделенную вертикальной перегородкой или внутренней трубой на равные объемы. Оптимальная скорость циркуляции воздуха в системе 1–4 м/с. При таких скоростях температура воздуха на контакте с грунтом лишь на 20–14% выше температуры наружного воздуха, кроме того обеспечивается вынос снежных частиц, устраняется вибрация и гул [Коновалов 1989, 1991, 2012]. Разработана целая серия приспособлений, позволяющих повышать скорость циркуляции воздуха до величин, близких к оптимальным, только за счет ветра, без использования электричества (авторские свидетельства РФ – далее а.с. – №№ 1014312, 1005517 и др.). Такие ветро – конвективные охладители (ВКО [Коновалов 1989]) рекомендуются в основном для предпостроечного (краткосрочного) охлаждения. Для постоянного охлаждения применяются **горизонтальные ВКО**, в которых каналы с нисходящим (холодным) и восходящим (теплым) потоками разнесены по разные стороны здания и объединены под ним слабонаклонным каналом – рис.1 (а.с. №№ 842131, 847734). Разработаны варианты ВКО на базе проветриваемого подполья, новыми элементами которых являются горизонтальная перегородка, делящая подполье на два уровня, и попеременно закрываемые продухи (а.с. №№ 953839, 969048).



**Жидкостные СОУ** в простейшем случае представляют собой вертикальный трубчатый корпус, заглубленный в грунт, заполненный незамерзающей жидкостью, обычно керосином [Ганеев 1985; Макаров 1985; Коновалов 1989]. Его надземная часть должна быть не менее 1/5 общей длины. В общем они несколько эффективней ВКО.

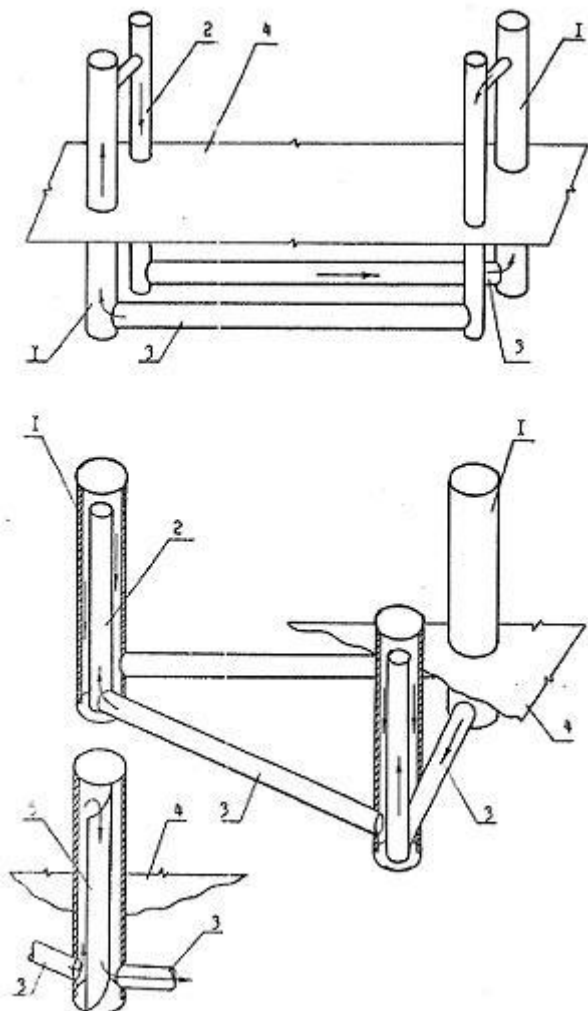


Рис. 1. Горизонтальные СОУ

1, 2, 3 – широкая, узкая и соединительная трубы с воздушным или жидким хладагентом; 4 – поверхность грунта (подсыпка); 5 – перегородка.

Недостатками являются: 1) наличие зоны смешивания нисходящего и восходящего потоков; 2) образование в торцевых частях одноструйного СОУ, при увеличении некоторой его предельной длины, застойных зон. Эти недостатки устраняются путем разделения потока на "теплый" и "холодный" и заключения их в отдельные каналы. Установлено, что эффективность СОУ повышается с уменьшением диаметров каналов (до 1-2 см), но вместе с тем уменьшается и зона их теплового влияния. Поэтому для улучшения работы СОУ сократить его объем целесообразно не за счет уменьшения диаметра, а путем изъятия из теплообмена срединной области с помощью теплоизоляционного вкладыша (а.с. №№ 882254, 1015698, 1078970). Отметим также, что как и в случае с воздушными СОУ, существует предел, выше

которого увеличение скорости циркуляции, практически не приводит к увеличению эффективности устройства.

Таким пределом для труб и каналов диаметром 3-15 см являются скорости циркуляции жидкости порядка 5-10 см/сек. Все виды СОУ могут быть использованы не только для повышения прочностных характеристик мерзлого грунта, но и как средство против сил морозного выпучивания фундаментов в талых грунтах.

**Горизонтальные ЖСОУ** конструктивно похожи на воздушные, но циркуляция жидкости в них побуждается за счет горизонтального термического градиента, вызываемого разным диаметром труб, либо неодинаковыми условиями теплообмена по разные стороны внутренней трубы или вертикальной перегородки (а.с. №№ 847731, 1088423 и др.).

**Расчет прочности охлаждаемых оснований.** Прочность мерзлого грунта ( $P_c$ ), охлажденного вертикальным трубчатым СОУ, можно вычислить по формуле [Коновалов 1979, 2011]:

$$P_c = P_n k_c (1)$$

где  $P_n$  – длительная прочность мерзлого грунта, определяемая по методике действующей главы СНиП в зависимости от максимальной температуры мерзлого грунта  $t_m$  за весь срок службы сооружения в обычных условиях (без СОУ);  $k_c$  – коэффициент, показывающий во сколько раз повышается длительная прочность мерзлого грунта, охлажденного с помощью СОУ.

Величина  $k_c$  определяется по табл. 1 в зависимости от безразмерных параметров  $\Theta = (t - t_m) / (t_n - t_m) = 1 - \ln(t/r_o)/Fo^{0,25}$ ;  $\psi = t_n/t_m$  и  $j_n$ .

Значения  $k_c$  при других  $\Theta$  и  $\psi$  определяются по интерполяции. Величина  $t_n$  в выражении  $\Theta$  назначается по данным замеров, а при их отсутствии вычисляется по эмпирической формуле, примерно:

$$t_n = t_m + (t_b - t_m)(0,25 + 0,75 h_n / h) (2)$$

где  $t_b$  – температура воздуха,  $h$  и  $h_n$  – общая длина и длина надземной части СОУ.

Формула (2) получена по результатам наблюдений за воздушными и жидкостными СОУ, снабженными струеразделителями.

Она пригодна для приближенной оценки эффективности СОУ и с хладагентом любого состава.

Технологические схемы возведения сооружений на охлаждаемых основаниях:

1) Предварительное (краткосрочное) охлаждение грунта на площадке строительства до достижения проектного температурного режима, затем строительство сооружения при постоянном охлаждении его основания для сохранения пониженных температур – с помощью проветриваемого подполья или трубчатых СОУ любого типа.

2) Постепенная загрузка основания по мере понижения температуры грунта и набора прочности. Согласно этой

схеме, сначала возводится цокольное перекрытие, экранирующее грунт от отепляющего воздействия снега и солнечной радиации, что вызывает его постепенное охлаждение и упрочнение. Строительство выше цоколя осуществляется по мере упрочнения экранированного грунтового основания.

## Литература

- Гапеев С.И. Укрепление мерзлых оснований охлаждением. 1969. – М.: Стройиздат, 104 с.
- Коновалов А.А. Охлаждение мерзлых оснований для повышения их прочности. 1989. – Красноярск: Изд-во Красноярского ун-та, 204 с.
- Коновалов А.А. Прочностные свойства мерзлых грунтов при переменной температуре. – Новосибирск. 1991. Наука, 93 с.
- Макаров В.И. Термосифоны в северном строительстве. 1985. – Новосибирск: Наука, 168 с.

Таблица 1. Зависимость  $k_c$  от  $\Theta$  и  $\psi$  при  $j_n = 0,11$  (числитель)  
 $j_n = 0,08$  (знаменатель)

$\Theta$	Значения $k_c$ при $\psi$ , равных :				
	5	10	15	25	35
0,2	1,22 / 1,19	1,34 / 1,27	1,40 / 1,32	1,50 / 1,38	1,55 / 1,41
0,5	1,36 / 1,29	1,49 / 1,37	1,56 / 1,42	1,64 / 1,48	1,72 / 1,53
0,8	1,43 / 1,33	1,56 / 1,42	1,64 / 1,49	1,72 / 1,54	1,81 / 1,58



## Изучение динамики пирогенных сукцессий в районе Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения по данным спутников Landsat

С.Г.Корниенко

*Институт проблем нефти и газа РАН*

### Реферат

По данным космической съемки со спутников серии Landsat установлено, что на участках пирогенного поражения (ПП) в районе Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) скорость стабилизации состояния вторичных растительных покровов (РП), определяемая по изменениям альbedo, коэффициента излучения и различным вегетационным индексам, существенно выше скорости стабилизации температуры поверхности РП. Вероятными причинами различий в скорости стабилизации параметров могут быть эффекты транспирации и/или аккумуляция тепла в почве после ПП. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования космических снимков (КС) спутников Landsat для картирования изменений условий теплообмена мерзлых грунтов с атмосферой, зон дренирования и переувлажнения почвенно-растительных покровов, а также выявления участков возможной деградации многолетнемерзлых пород (ММП), в границах которых наиболее вероятно активизация геокриологических процессов, представляющих опасность для объектов нефтегазового комплекса.

**Ключевые слова:** альbedo; космические снимки; коэффициент излучения; пирогенное поражение; температура поверхности.

## Studying Dynamics of Pyrogenic Successions in the Area of The Urengoy Oil And Gas Condensate Field According to Satellite Imagery Landsat

S.G.Kornienko

*Oil and Gas Research Institute RAS*

### Abstract

According to satellite imagery (SI) from the Landsat series satellites found that in areas of pyrogenic defeat (PD) in the area of the Urengoy oil and gas condensate field (OGCF) rate stabilization secondary vegetation cover (VC), defined by changes in albedo, emissivity, and various vegetation indices, significantly higher than the rate of stabilization of the surface temperature of the VC. Possible reasons for differences in the rate stabilization parameters can be the effects of transpiration and/or accumulation of heat in the soil after PD. The obtained results indicate the possibility of using SI Landsat for mapping changes to the conditions of heat transfer of frozen soils to the atmosphere, drainage zones and rewetting of soil and VC, as well as identify areas of possible degradation of permafrost, within which the most probable activation of geocryological processes, which poses a threat to oil and gas facilities.

**Key Words:** albedo; satellite images; emissivity; pyrogenic defeat; the surface temperature.

### Введение

Основной причиной активизации опасных геокриологических процессов (ОГП) является изменение условий теплообмена мерзлых грунтов с атмосферой, связанное, как правило, с трансформацией природных ландшафтов и нарушением естественного состояния РП. Уничтожение РП в результате механического сноса или ПП приводит к повышению температуры ММП и увеличению глубины сезонно-талого слоя (СТС) [Скрябин Варламов 2013], что при высокой льдистости грунтов или близкого залегания к поверхности пластовых льдов приводит к развитию ОГП [Лендин Ганова 2009]. Во время пожаров, связанных, в основном, с промышленной и хозяйственной деятельностью, как правило, сгорает коренной РП - лишайник (ягель). На Тазовском полуострове только за 40 лет с начала освоения нефтегазовых месторождений в результате

хозяйственной деятельности были уничтожены коренные виды РП минимум на 11% территории полуострова [Kornienko 2011]. Широкое распространение озер, рек, водотоков и высокая влажность почв способствует развитию на горячих вторичных видах РП: злаковых трав, кустарничков, мхов.

Трансформации ландшафта и изменение условий теплообмена могут быть охарактеризованы по КС, в частности, в видимом и тепловом диапазонах длин волн [Корниенко 2009, Huemrich et al. 2010, Karnieli et al. 2010, Gamon et al. 2013, Loboda et al. 2013]. Немаловажное значение имеют опыт и результаты исследований, позволяющие по КС характеризовать причины изменения условий теплообмена и выявлять участки наиболее вероятного развития ОГП. Одной из основных задач является определение длительности периода стабилизации состояния РП, испытавшего воздействие различных природных и антропогенных

факторов. Цель настоящей работы – оценка информативности КС спутников Landsat для характеристики времени стабилизации тундрового РП и условий теплообмена мерзлых грунтов с атмосферой на участках ПП. Перспективы развития этого направления связываются с возможностью использования зарубежных архивных данных мелкомасштабной и среднемасштабной космической съемки, в первую очередь КС с ресурсных спутников серии Landsat, осуществляющих регулярную съемку с начала 80-х годов прошлого столетия.

### Анализируемые параметры

Известно, что радиационный баланс земной поверхности, на которой происходит преобразование потока солнечной энергии, рассчитывается по формуле:

$$R = Q(1 - A) - (E_n - E_a) \quad (1)$$

где  $R$  – радиационный баланс,  $Q$  – суммарная солнечная радиация, включающая прямую и рассеянную составляющие,  $A$  – альbedo поверхности,  $E_n$  – длинноволновое излучение земной поверхности,  $E_a$  – встречное длинноволновое излучение атмосферы к поверхности. Излучение с поверхности определяется по закону Стефана-Больцмана:

$$E_n = \varepsilon \delta T_n^4 \quad (2)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент излучения поверхности,  $\delta$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $\delta = 5,67 \times 10^{-8}$  Вт·м<sup>-2</sup>·°К<sup>-4</sup>),  $T_n$  – температура поверхности (°К).

При равных условиях инсоляции и состояния атмосферы, т.е. когда  $Q$  и  $E_a$  не меняются в границах участка исследований, радиационный баланс будет зависеть от параметров  $A$  и  $\varepsilon$ , характеризующих свойства поверхности и от  $T_n$ , зависящей от теплового режима деятельного слоя, включая РП. При неизменных условиях инсоляции и постоянном тепловом потоке снизу в случае уменьшения  $A$  и  $\varepsilon$ , в частности, после ПП растительности,  $T_n$  будет повышаться за счет увеличения количества поглощенной радиации и за счет снижения отдачи тепла с поверхности.

По мере восстановления РП и увеличения  $A$  и  $\varepsilon$  до начальных значений  $T_n$  будет понижаться, однако даже к моменту полного восстановления  $A$  и  $\varepsilon$  при прочих равных условиях радиационный баланс на поверхности может не восстановиться, поскольку деятельный слой получил дополнительное количество тепла и его среднегодовая температура (и  $T_n$ ) будет оставаться выше начальной. Это означает, что срок восстановления  $T_n$  может превышать сроки восстановления  $A$  и  $\varepsilon$ . Анализ многолетних вариаций параметров  $A$ ,  $\varepsilon$ , и  $T_n$ , а также других параметров, характеризующих состояние РП после ПП, позволит определить информативность КС при изучении процессов восстановления (стабилизации) радиационного баланса и оценке изменений условий теплообмена ММП с атмосферой.

Расчет параметров  $A$ ,  $\varepsilon$ , и  $T_n$ , а также параметра  $NDVI$ , характеризующего содержание хлорофилла в РП и

параметра  $NBR$  характеризующего степень поражения РП, проводился по формулам, описанным в работах [Tucker 1979, Van de Griend & Owe 1993, Liang 2000, Loboda et al. 2013].

Параметр  $T_p$  в данном случае характеризует температуру поверхности на момент съемки со спутника, в частности, для спутников Landsat она всегда осуществляется практически в одно время, около 11 часов по местному времени. Следует отметить, что получаемые на основе КС перечисленные параметры, как правило, используются для построения относительных распределений, поскольку для получения более точных абсолютных значений необходима их коррекция (калибровка) с использованием дополнительных, в т.ч. наземных методов и средств измерения.

Изучение межгодовой динамики сукцессий на участках ПП проводилось на основе данных космической съемки 20.07.1987 г., 15.07.1988 г., 03.08.1989 г., 12.07.1990 г., 07.08.1999 г., 25.07.2009 г., 20.07.2013 г. и 15.08.2014 г.

Подбор КС спутников серии Landsat проводился с учетом полного отсутствия облачности в границах исследуемого района и максимальной близости дат съемки к середине лета.

Для снижения погрешностей, связанных с калибровкой данных, состоянием атмосферы, а также межгодовыми различиями фенологических фаз и колебаниями температуры воздуха, проводилась системная коррекция КС, аналогичная описанной в работах [Verbesselt et al. 2010, Плотников и др. 2014], что позволяет существенно повысить информативность результатов.

### Характеристика участка исследований

Изучение многолетних трендов пирогенных сукцессий с использованием КС проводилось на примере района центральной части Уренгойского НГКМ, относящегося к субарктической зоне. Для анализа были выбраны участки ненарушенного состояния с коренным РП и смежные с ними участки ПП, прошедшего в разные годы (Рис. 1). Участки примыкают к пойме реки Нгарка-Табьяха.

Все участки кроме участка №5 относятся к одному морфогенетическому типу ландшафтов, а именно к плоским озерно-ледниковым равнинам, относительно дренированным, с абсолютными отметками 60-70 м. Растительность здесь представлена березово-лиственничным редколесьем, кустарниковыми и мохово-лишайниковыми покровами. Почвы тундрово-глеевые, местами дерново-подзолистые, глеезы дифференцированные, преобладают пески, супеси, суглинки. Участок №5 относится к плоским озерно-ледниковым равнинам, полого-волнистым, заозеренным с абсолютными отметками (45-55 м). Здесь распространены болота верховые, плоско-бугристые, ерничко-багульниково-сфагновые. Из растительности на этом участке распространены кустарники, мхи, встречаются березово-лиственничные редколесья. Почвы тундровые глеевые, иловато-гумусовые, преобладают суглинки, алевроиты, торф.



На рис. 1а приведен панхроматический КС камеры КАФА 1000 (сентябрь 1979 г.), который характеризует состояние РП района до пожаров. Участок №1, площадью 10, 1 км<sup>2</sup>, относится к зоне ненарушенного состояния, здесь в РП преобладают лишайники (ягель) и кустарники. Участок №2, площадью 6,4 км<sup>2</sup> также относится к ненарушенным территориям и характеризуется лиственничным редколесьем с подстилающим ягельным покровом. В подлеске здесь отмечается карликовая березка, багульник, голубика, брусника. К ненарушенным также отнесен участок болотистой местности №5, площадью 22,2 км<sup>2</sup> с отчетливо выраженной густой сетью протоков. Перечисленные участки (№№ 1,2,5) составляют референтную группу, относительно которой анализировалась динамика сукцессий на участках №№ 3,4 и 6, отнесенных к зонам ПП. Исходя из анализа серии КС лета 1987 г. следует, что участок №3, площадью 3,5 км<sup>2</sup>, сгорел в июле 1987 г. (Рис. 1б). Участок №4, площадью 25,3 км<sup>2</sup> отнесен к зоне обширного ПП, произошедшего приблизительно в 1983 г., а на участке №6, площадью 16,3 км<sup>2</sup> пожар прошел в 1989 г. (Рис. 1в). Судя по КС 1979 г. (Рис. 1а), на всех участках ПП тип РП идентичен растительности на участке №1.

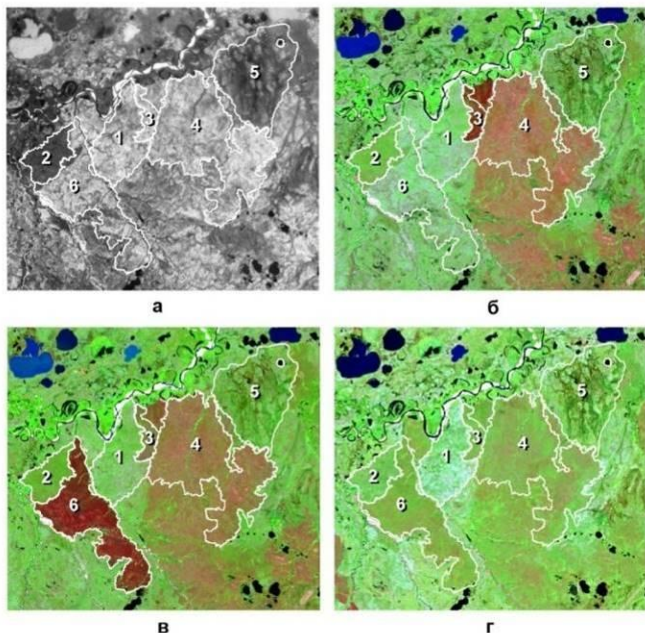


Рис. 1. Изображения исследуемых участков (1-6) в районе Уренгойского НГКМ по данным спутников КАФА-1000 (а – сентябрь 1979 г.), Landsat 5 (б – 20.07.1987 г. ; в – 03.08.1989 г.) и Landsat 8 (г – 15.08.2014 г.)

### Анализ многолетней динамики пирогенных сукцессий по КС

Для оценки динамики пирогенных сукцессий, изменения средних значений параметров  $A$ ,  $\epsilon$ ,  $T_n$ ,  $NDVI$ , и  $NBR$  на пораженных участках анализировались относительно референтного участка №2, характеризующегося минимальными значениями среднеквадратического отклонения (СКО) и минимальными межгодовыми вариациями значений

параметров по всем сериям КС. С этой целью вычислялась разность средних значений параметров по годам между участком №2 и участками №3 и №6, для которых известны даты пожара. На следующем этапе определялись уравнения аппроксимации разности средних значений параметров, характеризующие многолетние тренды их изменения. Непосредственно после ПП отмечается резкое уменьшение значений параметров  $A$ ,  $\epsilon$ ,  $NDVI$ ,  $NBR$  и увеличение значений  $T_n$  с последующим медленным выходом область начальных значений.

Дополнительно проводился анализ межгодовой динамики СКО параметров, который показал, что непосредственно после пожара СКО всех параметров резко увеличивается и затем постепенно уменьшается. Аналогично тому, как были определены временные тренды изменения разности средних значений параметров по годам и соответствующие уравнения аппроксимации, вычислялись многолетние тренды изменения разности СКО параметров эталонного и пораженных участков за наблюдаемый период и также определялись уравнения аппроксимации.

Анализ межгодовых вариаций средних значений параметров референтной группы показывает, что минимальные значения СКО отмечаются на участках №1 и №2. На участке №5 разброс более существенный и не отражает какого-либо явного тренда, что, скорее всего, связано с наличием обширной сети водотоков и изменчивостью гидрологических условий. Все временные тренды, относящиеся к участкам ПП, к концу срока наблюдений отчетливо отражают тенденцию сближения к значениям параметров референтной группы.

Для количественной оценки различий в скорости изменения параметров был использован критерий, характеризующий время снижения разности средних значений и разности СКО параметров на 90% величины динамического диапазона изменений по каждому временному ряду значений. На основе этого критерия можно судить о различиях скорости стабилизации параметров, характеризующих динамику сукцессии. Для расчета времени снижения разности параметров по данному критерию использовались упомянутые выше уравнения аппроксимации разности средних значений и СКО параметров.

В таблице 1 приведены значения расчетного времени снижения разности средних значений и разности СКО параметров между участками №2 и №3, а также между участками №2 и №6. Из таблицы видно насколько существенны различия во времени изменения средних значений параметров между собой для каждого из участков и между участками №3 и №6. Быстрее всех стабилизируется альbedo поверхности, что, скорее всего, связано с высокими значениями этого параметра для обнаженных почв и грунта. Существенно медленнее остальных параметров стабилизируется температура поверхности. В данном случае речь идет о температуре на момент съемки со спутника. В то же время, из таблицы 1 видно, что время стабилизации СКО  $T_n$  соизмеримо со временем стабилизации СКО другим параметрам. Скорее

всего, это означает близкое по темпам снижение неоднородности спектральных и теплофизических свойств поверхности по мере роста растительности.

Таблица 1. Расчетное время снижения разности средних значений и разности СКО параметров на 90% величины динамического диапазона (годы).

	Между участками №2 и №3		Между участками №2 и №6	
	среднее	СКО	среднее	СКО
A	5,8	12,6	14,7	17,0
NDVI	13,8	18,3	15,7	17,8
NBR	14,3	11,0	17,7	18,8
$\epsilon$	16,4	10,6	19,3	8,0
$T_n$	22,4	9,2	24,3	15,4

Достаточно заметная разница во времени стабилизации одних и тех же параметров на участках №3 и №6 (табл.1), свидетельствует о возможных различиях в скорости пирогенных сукцессий даже в пределах одной геоморфологической зоны, что ранее отмечалось в работе [Комплексный...2012].

Полевые исследования 2005 и 2006 гг. на участках старых гарей и вторичных сукцессий на исследуемой территории в сопоставлении с датами прошедших пожаров (по архивным КС) свидетельствуют о том, что через 15-20 лет после пожара вторичный РП полностью формируется и однородно заполняет площадь сгоревшего участка. Данные в таблице 1, в целом, подтверждают эти сроки, за исключением средних значений  $T_n$ , которые согласно этим темпам полностью стабилизируются не менее чем через 25-30 лет.

Одной из причин более низкой скорости стабилизации средних значений  $T_n$  может быть усиление эффекта транспирации по мере развития РП, к которому остальные параметры менее чувствительны. В этом случае следует считать, что время полной стабилизации состояния РП (климакса) составляет не 15-20 лет, а 25-30 лет. Другой причиной может быть влияние теплового режима СТС на температуру поверхности сформировавшегося низкорослого РП, поскольку известно, что температура СТС на горях даже через 20-25 лет остается выше температуры СТС соседних ненарушенных участков на 1-1,5 °С [Скрябин Варламов 2013]. Не исключено влияние обоих факторов, однако, в любом случае, для данных условий время полной стабилизации температуры на поверхности РП и, соответственно, радиационного баланса, составляет не менее 25-30 лет после ПП.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о возможности использования КС спутников Landsat для характеристики динамики сукцессий на участках ПП, картирования изменений условий теплообмена мерзлых грунтов с атмосферой, зон дренирования и переувлажнения почвенно-растительных покровов, а также выявления участков возможной деградации ММП.

## Литература

- Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири. 2012. / Отв. редактор В.П. Мельников; Рос. акад.наук Сиб. отд-ние, Институт криосферы Земли. – Новосибирск: Академическое издательство "Гео", 2012. – 207 с. (на русском языке)
- Корниенко, С.Г. Оценка влияния разработки Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения на состояние территории лесотундры по данным ИСЗ «Landsat» /С.Г. Корниенко // Исследование Земли из космоса. – 2009. - № 4. – С.78 – 87.
- Пендин В.В., Ганова С.Д. 2009. Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне. – М.: ОАО «ПНИИИС», 2009. – 236 с. (на русском языке)
- Плотников, Д.Е., Восстановление временных рядов данных дистанционных измерений методом полиномиальной аппроксимации в скользящем окне переменного размера / Д.Е. Плотников, Т.С. Миклашевич, С.А. Барталёв // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – Т.11. - №2. – С. 103-110.
- Скрябин, П.Н. Термический режим грунтов нарушенных ландшафтов центральной Якутии / П.Н. Скрябин, С.П. Варламов // Криосфера Земли. – 2013. – Т. XVII. - №3. – С. 44-49.
- Loboda, T.V., French, N.H.F., Hight-Harf, C., Jenkins, L. & Miller, M.E. Mapping fire extent and burn severity in Alaskan tussock tundra: An analysis of the spectral response of tundra vegetation to wildland fire / Remote Sensing of Environment. – 2013. - №134. – P.194–209.
- Huemmrich, K.F., Gamon, J.A., Tweedie, C.E., Oberbauer, S.F., Kinoshita, G., Houston, S., Kuchy, A., Hollister, R.D., Kwon, H., Mano, M., Harazono, Y., Webber, P.J. & Oechel, W.C. Remote sensing of tundra gross ecosystem productivity and light use efficiency under varying temperature and moisture conditions / Remote Sensing of Environment. – 2010. - №114. – P. 481–489.
- Korniyenko, S.G. Assessing the transformations of natural landscapes of the Taz Peninsula using space-borne imagery / Geography and Natural Resources. – 2011. - № 1. – P. 67-73.
- Gamon, J.A., Huemmrich, K. F., Stone, R.S. & Tweedie, C.E. Spatial and temporal variation in primary productivity (NDVI) of coastal Alaskan tundra: Decreased vegetation growth following earlier snowmelt / Remote Sensing of Environment. – 2013. - №129. – P.144–153.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R.T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G., Panov, N. & Goldberg, A. Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations / Journal of Climate. – 2010. – Vol. 23. - №2. – P. 618–633.
- Liang, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I – Algorithms / Remote Sensing of Environment. – 2000. – Vol.76. – P. 213–238.
- Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / Remote Sensing of Environment. – 1979. - №8(2). – P.127–150.
- Van de Griend, A.A. & Owe, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized different vegetation index for natural surfaces / International Journal of Remote Sensing. – 1993. - №14. – P.1119–1131.
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G. & Culvenor, D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series / Remote Sensing of Environment. – 2010. - №114(1). – P.106–115.



## Новый теплоизоляционный материал для транспортного строительства в холодных регионах

Е.А.Коротков, А.О.Константинов  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Развитие транспортной инфраструктуры севера Западной Сибири требует внедрения новых теплоизоляционных материалов, позволяющих повысить качество и долговечность автомобильных дорог. Авторами предполагается использовать гранулированный теплоизоляционный материал «ДиатомИК», производимый на основе местного опалового сырья. Теплоизоляционный слой материала способен выполнять дренирующую, капилляропрерывающую и стабилизирующую функции.

**Ключевые слова:** Гранулированный теплоизоляционный материал, транспортное строительство, ДиатомИК

## New Thermal Insulation Material for Transport Construction in Cold Regions

E.A.Korotkov, A.O.Konstantinov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

Development of transport infrastructure of the north part of Western Siberia requires the implementation of new thermal insulation materials that can improve the quality and longevity of roads. Authors propose to use granular insulation material "DiatomIK" produced from local opal raw material in road construction. Insulation layer of this material is also able to carry out draining, and stabilizing function.

**Key Words:** Granular insulation material, transport infrastructure construction

### Введение

Интенсивное освоение природных ресурсов Арктики и Субарктики является неотъемлемым условием развития экономики Российской Федерации в XXI веке. Комплексное развитие добывающих отраслей севера России в свою очередь предполагает создание современной транспортной инфраструктуры.

Современное состояние транспортной инфраструктуры Западной Сибири (крупнейшего нефтегазодобывающего региона страны), в частности сети автомобильных дорог, далеко от совершенства. Сложные грунтовые и природно-климатические условия, низкая плотность населения регионов севера Западной Сибири отрицательно сказываются на качестве автомобильных дорог. Широкое распространение многолетнемерзлых пород (ММП) является еще одним фактором, влияющим на состояние сети автомобильных дорог региона.

Применение теплоизоляционных материалов, позволяющих управлять водно-тепловым режимом дорожных конструкций, является одним из способов улучшения качества и долговечности, автомобильных дорог, построенных на участках со сложными геокриологическими условиями.

### Гранулированный теплоизоляционный материал «ДиатомИК»

Теплоизоляционные материалы, традиционно используемые при строительстве объектов транспортной инфраструктуры севера Западной Сибири, обладают целым рядом недостатков, а их применение не всегда целесообразно с экономической точки зрения. Так, плиты из экструзионного пенополистирола являются импортным товаром, транспортировка которого от мест производства до потребителей ХМАО и ЯНАО приводит к значительным логистическим издержкам. Кроме того, технология устройства теплоизоляционных слоев из пенополистирола отличается достаточно высокой сложностью и предполагает ручной труд (рис.1). Данный тип теплоизоляционных материалов обладает ограниченным функционалом и не способен обеспечивать дренаж, снижать рабочие отметки насыпей и общий вес дорожной конструкции.

Устройство теплоизоляционных и морозозащитных слоев из местных непучинистых грунтов в регионах севера Тюменской области лимитировано ресурсной базой строительных материалов.

Оригинальным решением проблемы обеспечения регионов севера Западной Сибири качественными теплоизоляционными материалами для транспортного строительства может стать применение материалов на

основе местного сырья, производство которых может быть расположено в непосредственной близости от потребителей.



Рис.1 Укладка теплоизоляционного слоя из пенополистирольных плит «Пеноплекс», ЯНАО

Производство и внедрение таких материалов способно не только значительно повысить качество сети автомобильных дорог регионов ХМАО и ЯНАО, но и привести к созданию новой строительной отрасли Урала и Западной Сибири.

Гранулированный теплоизоляционный материал «ДиатомИК» (рис.2) - оригинальная разработка научного коллектива Института Криосферы Земли СО РАН. Материал производится на основе местного сырья: опал-кристоболлитовых пород (диатомитов).



Рис. 2 Гранулированный теплоизоляционный материал «ДиатомИК»

Технология получения ГТМ «ДиатомИК» запатентована ИКЗ СО РАН, патент РФ № 2464251, также на материал разработаны технические условия. Технологическая схема производства материала имеет

следующий вид: диатомитовое сырье подвергается первичному измельчению, сушке и помолу, на втором этапе происходит смешивание с добавками с формованием сырцовых гранул, их подсушка, дробление до необходимых размеров и вспенивание во вращающейся печи при 800 °С [Иванов 2011, 2014]. Колоссальные запасы кремнистого опалового сырья в районе Уренгойского газового месторождения открывают широкие перспективы для производства и применения.

Слой ГТМ «ДиатомИК» в основании дорожной насыпи способен выполнять сразу несколько функций: теплоизоляционную, дренажную, капилляропрерывающую и стабилизирующую. Использование материала в дорожном строительстве позволит повысить скорость строительных работ, снизить рабочие отметки дорожных насыпей, существенно снизить общий вес конструкции. По своим теплоизоляционным характеристикам слой ГТМ «ДиатомИК» толщиной 30 см как минимум не уступает слою теплоизолятора из пенополистирола.



Рис. 3 Дорожная конструкция со слоев ГТМ «ДиатомИК» в основании

О потенциальной эффективности материала «ДиатомИК» свидетельствует европейский опыт использования его аналогов в дорожных конструкциях. Прежде всего, речь идет о большом опыте в области регулирования водно-теплового режима земляного полотна при помощи устройства теплоизоляционных слоев из пеностеклянных засыпок, накопленном в скандинавских странах [Meyer Emersleben 2010].

## Литература

- Иванов К.С. Новый изоляционный материал для термостабилизации грунтов / К.С. Иванов // Криосфера Земли. Том XV. – 2011. - № 4. – С. 120-122.
- Иванов, К. С. Диатомиты в технологии гранулированного пеностекла / К. С. Иванов, С. С. Радаев, О. И. Селезнева // Стекло и керамика. – 2014. – № 5. – С. 15-19
- Meyer M., Emersleben A. Einsatzmöglichkeiten von recyceltem Altglas im Verkehrswegebau. / M. Meyer, A. Emersleben // Recycling und Rohstoffe. Band 3. – Berlin: Verlag, 2010. - S. 441 – 451.

## Региональные особенности динамики термокарстовых озер криолитозоны России

В.И.Кравцова, Т.В.Родионова

*Географический факультет Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова*

### Реферат

Исследовано изменение площади термокарстовых озер на территории 39 эталонных участках в 6 районах криолитозоны России: на Севере Европейской части России, в Западной Сибири, на Севере Восточной Сибири и Дальнего Востока, в Центральной Якутии и в котловинах Забайкалья. Выявлены разнонаправленные изменения площади озер с общим преобладанием их уменьшения. Массовое сокращение площади озер обусловлено перераспределяющей деятельностью водотоков и зарастанием озер. Наблюдаемое незначительное увеличение площади озер связано с некоторой активизацией термокарста по высокольдистым породам (Яно-Индигирская низменность, Ямал), циклическим изменением атмосферных осадков (Центральная Якутия), антропогенным воздействием (районы нефтедобычи в Западной Сибири) и деятельностью водотоков.

**Ключевые слова:** изменение площади озер; космические снимки; потепление климата; термокарстовые озера;

### Regional Differences in Thermokarst Lakes Dynamics in Russia Cryolithozone

V.I.Kravtsova, T.V.Rodionova

*Faculty of Geography Lomonosov State University*

### Abstract

Thermokarst lakes dynamic was investigated at 39 test sites in criolithozone of Russia 6 regions – the North of European Russia, Western Siberia, Eastern Siberia and Far East, Central Yakutia, Transbaikalian hollows. It was shown different – both increasing and reducing – changes in lakes areas with a total prevalence of reducing lakes. The reduction in lakes areas is connect with hydrological reason, lakes drainage with rivers and lakes overgrowth. The increase in lakes areas is caused by some activation of thermokarst processes at Yana-Indigirka lowland, Yamal; by cycle changes of precipitations in Central Yakutia; by anthropogenic impact in Western Siberia and by hydrological reasons everywhere.

**Key Words:** change of lakes areas; climate warming; satellite images; thermokarst lakes;

### Введение

В условиях потепления климата проявляется большой интерес к исследованию процессов развития термокарста как возможной реакции криолитозоны на повышение температуры воздуха. Начиная с 2000-х годов, зарубежными и отечественными учеными выполнены многочисленные исследования динамики термокарстовых озер в пределах полуострова Аляска и криолитозоны Евразии. В некоторых из них указывается на прямую взаимосвязь между изменением площади озер и потеплением климата, в других такая связь не прослеживается. При этом в пределах одной и той же территории у разных исследователей наблюдаются противоречивые результаты [Smith et al. 2005; Брыксина и др. 2009; Кравцова & Быстрова, 2009; Кравцова & Тарасенко, 2010], что могло быть связано с различиями в методике исследований. В связи с этим возникла необходимость проанализировать изменения площади озер на основе общей методики в различных районах криолитозоны России.

### Выбор районов исследования

Выбор районов исследования определялся: распространением термокарстовых озер [Кравцова 2009],

распределением показателей современного потепления климата [Малкова & Павлов 2012] и зависел от результатов проведенных ранее исследований [Кравцова & Быстрова, 2009; Smith et al. 2005; Брыксина и др. 2009; Кравцова & Тарасенко 2010]. В соответствии с этими факторами было выделено 6 районов (рис.1), каждый из которых характеризуется своими особенностями:

Север Европейской России – район распространения малых и средних озер, попадающий в область высокого метеокриологического риска.

Западная Сибирь – район широкого распространения средних и крупных озер, попадающий в область высокого метеокриологического риска; здесь отмечаются самые противоречивые результаты имеющихся исследований динамики озер.

Север Восточной Сибири – район, отмечающийся высокой льдистостью многолетнемерзлых пород и распространением большого количества очень крупных озер; высоких трендов увеличения температуры воздуха здесь не наблюдается, однако исследование динамики озер важно ввиду высокой льдистости пород.



1 - Север Европейской части России 2 - Западная Сибирь  
3 - Север Восточной Сибири 4 - Север Дальнего Востока  
5 - Центральная Якутия 6 - Забайкалье  
Рис.1. Районы исследования динамики термокарстовых озёр

Север Дальнего Востока – район распространения средних термокарстовых озёр в пределах Анадырской низменности, попадающий в область высокого метеогекриологического риска.

Центральная Якутия – район распространения малых и средних озёр, характеризующийся достаточно высокой льдистостью многолетнемерзлых пород; отмечаются высокие тренды увеличения температуры воздуха, а в предшествующем исследовании было выявлено значительное увеличение площади озёр [Кравцова & Быстрова 2009].

Котловины Забайкалья – район, в котором термокарстовые озёра, преимущественно малые, распространены локально, однако здесь прежде также было зафиксировано увеличение площади озёр [Кравцова & Быстрова 2009].

**Методика исследования**

Изучение изменений площади озёр требует работы в достаточно крупных масштабах, поэтому проводится на эталонных участках. В 6 районах было выбрано 39 эталонных участков, расположение которых показано на рис.1.

В пределах каждого эталонного участка по паре разновременных космических снимков со спутника Landsat были проанализированы многолетние изменения площади озёр, охватывающие временной интервал с 1970-х – 1980-х по 2000-е годы. Использование таких снимков имеет свои ограничения, которые были выявлены в процессе оценки надёжности дешифрирования озёр по ним. При сравнении снимков разного пространственного разрешения (снимков MSS с разрешением 80 м и снимков ТМ с разрешением 30 м) из анализа должны быть исключены озёра площадью менее 2 га, при сравнении снимков одинакового разрешения (снимков ТМ) – менее 0,4 га. После исключения из анализа малых озёр определялась величина изменения площади каждого конкретного озера; отбирались озёра с величиной изменения, превышающей величину

среднеквадратической погрешности определения площади озёр; проводился визуальный контроль и анализ наблюдаемых изменений. Кроме того на характерные фрагменты эталонных участков составлялись схемы динамики озёр, позволяющие визуально зафиксировать наблюдаемые изменения.

В результате в пределах каждого эталонного участка было определено количество озёр, площадь которых уменьшилась, количество озёр, площадь которых увеличилась, и изменение площади озёр в км<sup>2</sup>. Для удобства сравнения результатов, полученных по эталонным участкам, все показатели были подсчитаны относительно площади эталонных участков и приведены в виде графиков (рис.2, 3).



Рис. 2. Количество изменившихся озёр в пределах эталонных участков



Рис. 3. Изменение площади озёр относительно площади эталонных участков

**Результаты исследования**

**Север Европейской России**

Для Севера Европейской России характерна относительно невысокая динамичность термокарстовых озёр с преобладанием их сокращения: в пределах эталонных участков у 1304 озёр площадь уменьшилась, у 144 озёр – увеличилась. Наиболее сильное сокращение (у 1032 озёр) выявлено в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород в северо-восточной части рассматриваемого региона, где изменения вызваны гидрологическими причинами – деятельностью водотоков, а также зарастанием озёр (рис.4). Влияние потепления климата на эти процессы возможно, в частности на активизацию термоэрозионной

деятельности, приводящей к спуску озер, однако требует дополнительных исследований. Увеличение же площади и количества озер в этом районе наблюдается лишь на участке, расположенном в дельте Печоры и связано с гидрологическим режимом водотоков дельты.

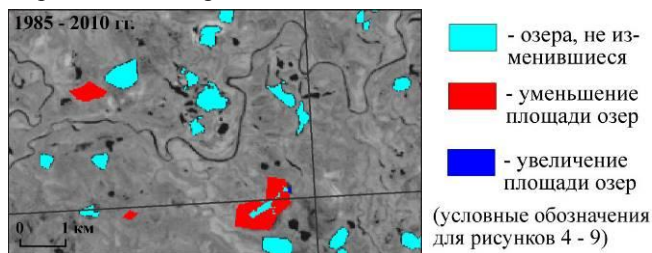


Рис. 4. Север Европейской России. Побережье Хайпудырской губы

### Западная Сибирь

На территории Западной Сибири наблюдается как увеличение, так и уменьшение площади озер. Однако уменьшение значительно преобладает над увеличением. В зоне островного распространения многолетней мерзлоты (рис. 5), наблюдаются незначительные изменения: у 39 озер площадь уменьшилась, у 82 – увеличилась. Лишь в отдельных местах отмечается зарастание крупных озер и спуск небольших озер в результате эрозионной деятельности рек. Появление новых озер и увеличение их площади (у 75 озер) под влиянием антропогенной деятельности отмечается на Среднеобской низменности севернее города Сургута.

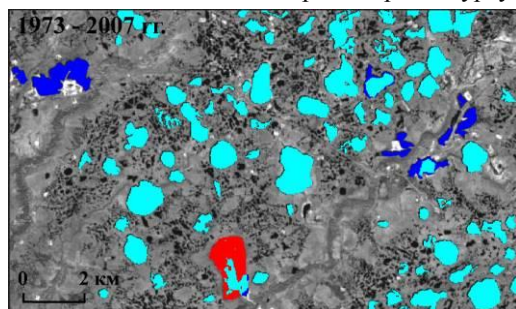


Рис. 5. Западная Сибирь. Среднеобская низменность

В зоне прерывистого распространения мерзлоты в Западной Сибири наблюдается значительное количество уменьшившихся озер (1046 озер) и незначительное количество увеличившихся озер (74 озера). Основными причинами уменьшения площади озер являются эрозионная деятельность рек и зарастание озер (рис. 6а).

Показанный на рис. 6б район представляет собой северный склон Сибирских Увалов, который характеризуется более высокими показателями расчленения рельефа и является более дренированным, нежели сильно заболоченный южный склон. В районах интенсивной добычи нефти и газа наблюдается изменение площади озер (как правило, увеличение) под влиянием антропогенной деятельности.

В зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород изменения более существенные: в пределах эталонных участков у 3719 озер площадь уменьшилась, у 393 – увеличилась. Уменьшение площади озер встречается практически

повсеместно (рис. 7а), вызвано оно развитием термоэрозии и активизацией эрозионной деятельности рек, а также зарастанием озер.

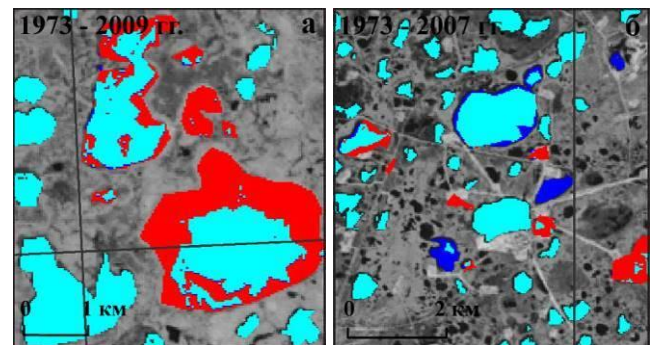


Рис. 6. Западная Сибирь: а – левобережье р. Надым; б – верховья р. Пякупур

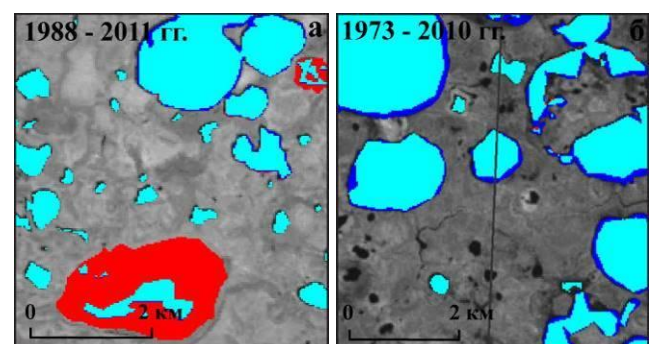


Рис. 7. Западная Сибирь: а – Центральный Ямал, восточная часть; б – южная часть полуострова Ямал

В зоне сплошной мерзлоты наблюдаются также озера, площади которых увеличились (на востоке полуострова Ямал, на севере Гыданского полуострова и на северо-востоке Тазовского полуострова) отмечается значительное количество озер, увеличившихся по краю озерной котловины (рис. 7б). Поскольку такое увеличение происходит вдали от объектов антропогенной деятельности, это может свидетельствовать об активизации процессов термоабразии и термокарста по сильнольдистым многолетнемерзлым породам.

### Север Восточной Сибири и Дальнего Востока

В пределах эталонных участков на Севере Восточной Сибири и Дальнего Востока наблюдаются разнонаправленные изменения площади озер. На Колымской низменности и на побережье Анадырского залива преобладает процесс сокращения площади озер (в пределах эталонных участков у 709 озер площадь уменьшилась, у 107 - увеличилась), обусловленный, как и во многих других районах, перераспределяющей деятельностью водотоков и зарастанием озер (рис. 8а).

На Яно-Индибирской низменности и на побережье Северного Ледовитого океана преобладает увеличение площади озер (на территории эталонных участков у 303 озер площадь увеличилась, у 83 - уменьшилась). Увеличение площади озер зафиксировано как в дельте реки Яны, так и на плакорах – в районах распространения высокольдистых многолетнемерзлых пород, где

расширение площади озер в виде узкой каймы наблюдается по краям озерных котловин (рис.8б), что рассматривается как возможное развитие процессов термоабразии и термокарста по высокольдистым породам.

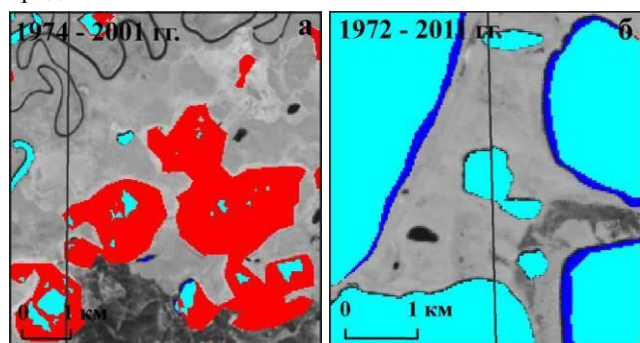


Рис. 8. Север Восточной Сибири: а – бассейн р. Рассоха; б – полуостров Широкостан

### Центральная Якутия

Анализ изменений озер на территории Центральной Якутии показал значительное увеличение площади озер (в пределах эталонных участков у 1908 озер площадь увеличилась, у 343 - уменьшилась). Озера, площади которых увеличились, распределены равномерно на плоских плакорах в районах распространения неглубоких аласных котловин (рис. 9).

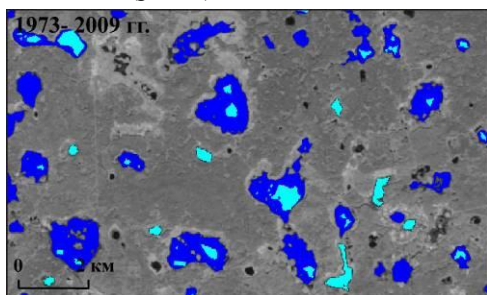


Рис. 9. Центральная Якутия. Левобережье р. Вилюй

Детальный анализ межгодовых изменений площади озер в этом регионе показал, что существенный отпечаток на изменение площади озер накладывают атмосферные осадки: многоводному периоду соответствует увеличение площади озер, а маловодному – уменьшение площади озер, поэтому наблюдаемое повсеместное увеличение площади озер обусловлено увеличением количества атмосферных осадков в годы, предшествовавшие космической съемке.

### Котловины Забайкалья

В котловинах Забайкалья наблюдаются разнонаправленные изменения с некоторым преобладанием увеличения площади озер (на территории эталонных участков у 51 озера площадь увеличилась, у 42 – уменьшилась). Распределены изменившиеся озера неравномерно, но главным образом в непосредственной близости от рек и водотоков: наполнение этих озер тесным образом связано с водным режимом и водным

балансом рек. Поэтому озера регулярно испытывают колебание уровня воды и соответственно изменение площади. Анализ межгодовых изменений показал чередование периодов уменьшения и увеличения площади озер, но в отличие от повсеместного однонаправленного изменения в Центральной Якутии, здесь площади соседних озер могут изменяться по-разному.

### Выводы

В результате анализа разновременных космических снимков с охватом 300 000 озер, выявлено, что в различных районах криолитозоны России наблюдаются разнонаправленные изменения площади озер с общим преобладанием уменьшения площади озер (–2,9% от их суммарной площади) над их увеличением (+1,2%). Наибольшее сокращение площади озер, обусловленное, как правило, перераспределяющей деятельностью соединяющих озера водотоков, эрозией и зарастанием озер, отмечается на территории Западной Сибири, Колымской и Анадырской низменностей. Увеличение площади озер, преобладающее лишь в ряде районов, обусловлено рядом факторов: региональным действием термоабразии и термокарста в районах высокольдистых многолетнемерзлых пород (Яна-Индигирская низменность, Ямал, Гыдан), ритмическими изменениями количества атмосферных осадков (Центральная Якутия), влиянием антропогенной деятельности (Западная Сибирь) и гидрологическими причинами (во многих районах).

### Литература

- Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. 2009. Изучение взаимосвязи изменений климатических и термокарстовых процессов в зонах сплошной и прерывистой мерзлоты Западной Сибири // Вестник Югорского государственного университета. – 2009. – №3. – С. 3–12
- Кравцова В.И., Быстрова А.Г. 2009. Изменение размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет // Криосфера Земли. – 2009. – т. 13. – №2. – С. 16–26
- Кравцова В.И. 2009. Распространение термокарстовых озер в России // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. География. – 2009. – №3. – С. 33–42
- Кравцова В.И., Тарасенко Т.В. 2010. Изучение и картографирование динамики термокарстовых озер на территории Западной Сибири по разновременным космическим снимкам // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2010. – №1. – С. 82–87
- Малкова Г.В. Павлов А.В. 2012. Геоинформационное картографирование современных изменений климата и криолитозоны на севере России // Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению ТАСОР. Салехард. 25–29 июня 2012 г. – Тюмень: ООО "Печатник", 2012. – т. 3 (статьи на русском языке). – С. 313–318
- Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., Hinzman L.D. 2005. Disappearing Arctic Lakes // Science. – 2005. – v. 308. – №5727. – P. 1429.



## Геокриологические условия Новосибирских островов

Г.П.Кузьмин, Д.М.Шестернев, И.С.Вахрин

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск*

### Реферат

Изложена краткая история формирования мерзлой толщи Новосибирских островов с аградационными и деградационными периодами развития, сопровождавшимся широким образованием термокарстовых форм или отложений «ледового комплекса». Приведены данные о строении и распространении многолетнемерзлых пород с аномально высоким геотермическим градиентом. Показана экстремальность климатических условий, выражающаяся продолжительным периодом с отрицательной температурой наружного воздуха, сильным ветром в течение всего года, метелями, туманом. Представлены результаты определения физико-механических свойств грунтов.

**Ключевые слова:** Климатические условия; криолитозона; мощность; распространение; свойства; формирование.

### Geocryological Conditions on the New Siberian Islands

G.P.Kuzmin, D.M.Shesternev, I.S.Vakhrin

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS*

### Abstract

This paper gives a brief history of permafrost evolution on the New Siberian Islands with periods of aggradation and degradation accompanied by widespread thermokarst development or formation of the “ice complex” deposits. It also presents data on the structure and distribution of permafrost with abnormally high geothermal gradients. The islands are shown to have extreme climatic conditions with long periods of subzero temperatures, strong winds year round, snow storms, and fogs. The results of determination of soil mechanical properties are given.

**Key Words:** Climatic conditions; distribution; evolution; permafrost; properties; thickness.

### Введение

На территории Новосибирских островов 1,8—2,0 млн. лет назад образовалась вечная мерзлота и происходило формирование ландшафтов арктического типа [Архангелов 1977, Геокриология СССР 1989, Гитерман 1985, Зайцев 1974]. Образовавшиеся толщи многолетнемерзлых пород содержат значительное количество псевдоморфоз (ПМ) по повторно-жильным льдам (ПЖЛ) и остатки этих льдов, являющиеся важным архивом палеомерзлотной

### Краткая история развития криолитозоны

Изучение криоиндикаторов показало, что плиоцен-нижнеплейстоценовая история криолитозоны островов достаточно сложная, свидетельствующая о наличии здесь в прошлом деградационного и аградационного периодов ее развития. В нижнем плейстоцене, например, среднегодовые температуры пород в хронохроны снижались до  $-5...-8^{\circ}\text{C}$ , вызвавших рост ПЖЛ, а в термохроны температуры становились выше  $0^{\circ}\text{C}$ , что приводило к полному вытаиванию ПЖЛ и замещению их ПМ [Геокриология СССР 1989, Каплина 1981, Каплина Кузнецова 1975, Каплина и др. 1983].

В среднеплейстоценовое время процессы осадконакопления происходили уже при наличии

криолитозоны в условиях достаточно больших амплитуд колебаний климата, приводивших к значительным изменениям ландшафтов. Об этом свидетельствуют ПЖЛ в толщах отложений улахан-суларской, аллаиховской и хромской свит.

В наиболее полных разрезах среднеплейстоценовых осадков улахан-суларской и керемесигской свит Т.Н. Каплина установила два ритма их развития. В относительно холодное время преобладали тундры, а в периоды похолоданий, когда формировались отложения «ледового комплекса» – тундростепи. В то же время при существовании небольших периодов потепления территория покрывалась на юге северо-таежными лесами, а на севере — лесотундрой. В это время получали широкое развитие термокарстовые образования, в которых накапливались озерные и болотные осадки [Геокриология СССР 1989, Каплина Кузнецова 1975, Каплина и др. 1983].

Самым суровым периодом развития криолитозоны на островах был поздний плейстоцен, когда температуры пород опускались до  $-15...-25^{\circ}\text{C}$ , что примерно на  $10^{\circ}$  ниже их современных значений. В это время на значительной территории отмечалось формирование «ледового комплекса». Но даже в этот период относительные потепления приводили к частичной деградации мерзлоты и формированию

горизонтов аласных отложений [Геокриология СССР 1989, Каплина Кузнецова 1975, Каплина и др. 1983].

Выделяемые для региона в верхнем плейстоцене эпохи развития термокарста и продвижения леса на север совпадают с глобальными потеплениями, по крайней мере, в ранне- и позднекаргинское время.

В начале голоцена в период термического оптимума (9,5—7,8 тыс. лет назад) на территории региона активно развивался термокарст. В результате сильно трансформировалась поверхность древней озерно-аллювиальной равнины («едомы»), широко развивались аласы и аласные равнины. Завершение климатического оптимума, по мнению Т. Н. Каплиной, обусловило прекращение развития термокарста. В настоящее время в естественных условиях его развитие маловероятно.

Приведенная истории развития геокриологических условий на Арктических островах не означает отсутствие между ними особенностей формирования криогенного строения, температурного режима, кинетики и механики развития криогенных процессов и явлений.

### Распространение и строение криолитозоны

Многолетнемерзлые породы Новосибирских островов в целом имеют трехъярусное строение. В нижнем ярусе залегают эпикриогенные скальные докайнозойские породы с трещинно-жильными криогенными текстурами и льдистостью до 3 %, увеличивающейся до 12—16 % только в зонах повышенной трещиноватости, а также в элювиальных глинах коры выветривания.

Наиболее льдистыми в эпикриогенной мерзлой толще рыхлых кайнозойских отложений второго яруса являются верхнеплиоцен-нижнеплейстоценовые породы алеврито-песчаного состава, которые в отдельных интервалах разреза целиком состоят из льда с примесью песка и алеврита.

Пластовые ледяные тела инъекционного генезиса мощностью до нескольких метров приурочены к песчано-супесчаным разностям эпигенетических морских отложений также плиоцен-нижнеплейстоценового возраста. Например, на севере о. Фаддеевский в одной из скважин в диапазоне глубин от 34,5 до 52 м были вскрыты два слоя льда мощностью 3,8 и 11,7 м с двухметровым прослоем песчано-алеврито-глинистых отложений между ними. Лед имел хлоридно-натриевый состав, по минерализации (до 970 мг/л) был близок к солоноватому.

В верхней части разреза эпикриогенных мерзлых толщ встречаются также и пластовые погребенные ледяные тела. На северном побережье о. Фаддеевский в устье р. Моржовой в верхней части берегового уступа под двухметровым слоем глинистых алевритов вскрывается пластовая залежь льда замерзшего водоема видимой мощностью 4—5 м и длиной более 200 м.

Верхний ярус мерзлой толщи на островах включает синкриогенные высокольдистые озерно-аллювиальные алевриты среднепозднеплейстоценового возраста с мощными повторно-жильными льдами, современные пойменные осадки аллювия и комплекс аласных отложений. На севере о. Новая Сибирь и о. Фаддеевский, на

Земле Бунге, а также фрагментарно на о. Котельный верхний ярус мерзлых толщ на значительных площадях представлен эпикриогенными морскими средне-верхнеплейстоценовыми и голоценовыми отложениями [Соловьев 1983]

Максимальная мощность мерзлых пород и криогенной толщи скважиной глубиной 215 м не вскрыта. Оценить ее представляется возможным только косвенным путем, исходя из значений геотермического градиента, а также по результатам электроразведочных работ методом ВЭЗ. Геотермический градиент достоверно определен в четырех пунктах. Средние значения градиентов в мерзлой зоне ниже слоя годовых теплооборотов в различных морфологических и структурно-тектонических условиях довольно близки и изменяются от 5,9 до 6,7 °C/100 м. Столь большие значения градиентов нельзя объяснить только нестационарностью температурного режима в верхней части разреза мерзлых толщ, связанной с многолетними колебаниями температуры поверхности, так как и после введения поправки, обусловленной 9—11-летними колебаниями температуры, исправленные средние значения остаются аномально высокими (от 4,9 до 5,5 °C/100 м). Вероятнее всего, что большие градиенты температуры отражают повышенную плотность регионального глубинного теплового потока. В северной части о. Большой Ляховский геотермический градиент, определенный по тектонически ослабленным зонам в депрессиях складчатого основания, еще выше и достигает 7...9 °C/100 м.

Нижние пределы мощности криогенной толщи можно оценить исходя из величины геотермического градиента ниже слоя годовых теплооборотов, а верхние — по средним градиентам, характерным для ближайших регионов материковой части Восточной Арктики.

Судя по верхним пределам, максимально возможная мощность криогенной толщи может быть наибольшей в районе о. Ляховский (до 500—600 м), а в восточной части островов Анжу (о. Новая Сибирь) она не превышает 300—450 м. Вероятно, ближе к наибольшей будет и мощность криолитозоны в западной части островов Анжу (о. Котельный — Земля Бунге), где на профиле ВЭЗ, протягивающемся от о. Котельный через северную часть Земли Бунге до стрелки Анжу на о. Фаддеевский, максимальные мощности высокоомного горизонта, который может быть отождествлен с мерзлыми породами, составляют 450—500 м [Геокриология СССР 1989]

В западной части Земли Бунге, наряду с большими мощностями мерзлых толщ (до 460 м), местами наблюдается их сокращение до 160—200 м. Здесь же, а также вблизи стрелки Анжу, где мощность мерзлых пород едва превышает 100 м, по всей вероятности, ниже мерзлой зоны распространены отрицательно температурные породы, содержащие криопэги мощностью 100 м. На стрелке Анжу в направлении от Земли Бунге к побережью Восточно-Сибирского моря мощность мерзлых пород увеличивается от 140 до 300 м с одновременным сокращением мощности немерзлых



отрицательно температурных пород от 200 до первых десятков метров. Суммарная мощность криогенной толщи на стрелке Анжу изменяется мало и составляет около 350 м.

Строение зоны отрицательных температур в прибрежной части островов двухъярусное. Под верхним ярусом мерзлых пород, мощность которых составляет 5...60 м, редко более, залегают охлажденные ниже 0°C породы, содержащие криопэги [Геокриология СССР 1989]. При этом двухъярусное строение прослеживается на островах на удалении от побережья до абсолютных отметок 16—30.

## Физико-механические свойства грунтов о. Котельный

В 2014 г. ОАО «Градъ» проведены инженерно-геологические изыскания на о. Котельный. Климатические условия острова очень суровые. Солнечная радиация поступает в период с февраля по октябрь. Продолжительность солнечного сияния не

превышает за год 1100 ч. Среднемесячная скорость ветра изменяется от 5,3 до 6,2 м/с. За год число дней с сильным ветром (15 м/с и более) составляет 40 дней. Число дней с метелями за год достигает 75. Снежный покров устанавливается с третьей декады сентября – первой декады октября и сходит в конце мая – первой декады июня. В таблице 1 приведена характеристика годового хода среднемесячных температур воздуха и ее изменчивость по данным почти 50 лет наблюдений.

Были пробурены скважины глубиной до 5,2 м., вскрывших переслаивающиеся слои супеси, суглинка и льда. В большей части скважин на глубине 3,8...6,0 м встречены скальные грунты. Температура грунтов на глубине 4,0 м в разных скважинах в конце зимы составляет минус 14,0...16,5°C.

Институтом мерзлотоведения СО РАН определены физико-механические свойства грунтов, которые частично приведены в таблице 2.

Таблица 1. Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха за период 1966-2013 гг.

Характеристика	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Среднее	-30,0	-30,3	-27,9	-20,8	-9,0	-0,4	2,9	1,9	-1,6	-11,6	-22,3	-27,3	-14,7
Среднеквадратическое отклонение	2,6	2,6	2,1	2,1	1,7	1,2	1,5	1,7	1,9	3,0	3,1	2,6	1,2
Минимум	-35,8	-36,7	-31,8	-25,0	-12,3	-3,2	0,3	-1,3	-6,0	-17,8	-28,0	-34,4	-17,5
Максимум	-24,4	-25,0	-23,4	-13,5	-5,2	1,7	7,3	5,6	2,5	-6,4	-16,4	-22,2	-11,7
Амплитуда	11,4	11,7	8,4	11,5	7,1	4,9	7,0	6,9	8,5	11,4	11,6	12,2	5,8

Таблица 2. Физико-механические свойства грунтов

№ п/п	№ скважины	Глубина отбора, м.	Суммарная $w_{\text{ср}}$ , д. е.	Суммарная $i_{\text{ср}}$ , д. е.	Число пластичности $I_p$ , %	Показатель текучести $I_L$ , д. е.	Плотность			Пористость $n$ , %	Коэффициент пористости $e$ , д. е.	Коэффициент оттаивания $A_{\text{от}}$	Коэффициент сжимаемости при оттаивании $\mu_{\text{от}}$ , МПа <sup>-1</sup>	Классификация грунта по ГОСТу 25100-2011
							Грунта $\rho_f$ , г/см <sup>3</sup>	Скелета грунта $\rho_{\text{ск}}$ , г/см <sup>3</sup>	Частиц грунта $\rho_{\text{ч}}$ , г/см <sup>3</sup>					
1	14	2,5	0,323	0,405	5,2	1,96	1,80	1,36	2,67	49,0	0,96	0,004	0,158	Супесь текучая с дрсвой, слабо льдистая
2	60	1,0	0,505	0,511	2,3	12,8	1,53	1,02	2,75	62,9	1,71	0,006	0,156	Супесь текучая с дрсвой, льдистая
3	99	0,8-2,0	0,786	0,652	5,8	8,79	1,46	0,82	2,65	69,0	2,24	0,010	0,149	Супесь текучая с дрсвой, сильно
4	61	1,5	0,888	0,743	5,8	11,43	1,52	0,81	2,89	71,9	2,58	0,167	0,197	Супесь текучая с дрсвой, сильно льдистая
5	2	0,5-1,2	0,364	0,292	14,0	0,52	1,79	1,31	2,60	49,6	0,98	0,014	0,280	Суглинок мягко пластичный с дрсвой,
6	38	0,5	0,440	0,461	15,5	1,6	1,69	1,17	2,68	56,3	1,28	0,017	0,228	Суглинок текучий, льдистый
7	41	1,0	0,527	0,468	9,6	2,5	1,56	1,02	2,61	60,9	1,55	0,027	0,266	Суглинок текучий с дрсвой, льдистый
8	36	0,3	0,732	0,597	9,5	5,07	1,47	0,85	2,65	67,9	2,12	0,063	0,430	Суглинок текучий, сильно льдистый

## Заключение

Геокриологические условия, охарактеризованные по результатам исследований конца прошлого века, дают лишь общее представление о криолитозоне Новосибирских островов. Изменения температуры воздуха в комплексе с изменениями структуры и количества выпадающих осадков в различных геологических и геоморфологических условиях в конце 20-го и начале 21-го вв не могли не отразиться на параметрах слоев сезонных и годовых колебаний температуры.

## Литература

- Архангелов А.А. Подземное оледенение севера Колымской низменности в позднем кайнозое/ Проблемы криолитологии. – М.: 1977, вып. 6., с. 26-57
- Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток/ Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 515 с.
- Гитерман Р.Е. История растительности Северо-Востока СССР в плиоцене и плейстоцене.- М.: Наука, 1985
- Зайцев И.К. Принципы гидрогеологического

районирования и типизация гидрогеологических структур// Тр. ВСЕГЕИ, новая серия, 1974, т. 229, с. 5-10.

- Каплина Т.Н. История мерзлых толщ северной Якутии в позднем кайнозое/ История мерзлых пород Евразии. – М.: Наука, 1981. – с. 153-181;
- Каплина Т.Н., Кузнецова И.Л. Геотемпературная и климатическая модель эпохи накопления осадков едомной свиты Приморской низменности в Якутии/ Проблемы палеогеографии лессовых и перигляциальных областей. – М.: Ин-т географии АН СССР, 1975. – с. 170-107.
- Каплина Т.Н., Лахтина О.В., Рыбакова Н.О. Кайнозойские отложения среднего течения р. Алазет (Колымская низменность)// Изв. АН СССР, сер. Геол., 1983, № 6, с. 79-83.
- Конищев В.Н., Колесников С.Ф. Особенности строения и состава позднекайнозойских отложений в обнажении Ойгосский ЯР/ Проблемы криолитологии. - М.: 1981, вып. 9 – с. 107-117.
- Соловьев В.А. Криолитозона шельфа и этапы ее развития/ Основные проблемы палеогеографии позднего кайнозоя Арктики. – Л.: 1983. – с. 185-192.



## Оценка эффективности бактериальных штаммов на всхожесть и биометрические показатели озимой пшеницы сорта Тюменская-1.

А.Ю.Кулакова, О.В.Доманская  
ТюмГНГУ Институт криогенных ресурсов, Тюмень

### Реферат

В работе представлены результаты исследований по определению ростостимулирующей активности и влиянию на посевные качества семян озимой пшеницы перспективным штаммом бактерий *Bacillus 3M* из многолетнемерзлых отложений Мамонтовой горы, Якутия и штаммами бактерий *Bacillus cereus* IP 5832, *Streptococcus anginosus* № 9, *Myroides odoratus*. Проведенные исследования показали что, использование этих штаммов микроорганизмов при разной температуре инкубирования (+5°C; +20°C) повышали всхожесть и биометрические показатели проростков на ранних стадиях развития. Такое проявление ростостимулирующей активности штаммов перспективно для разработки на их основе биопрепаратов полифункционального типа действия.

**Ключевые слова:** бактериальные штаммы; биометрические показатели; биопрепарат; всхожесть; озимая пшеница; стимулирующее действие.

### Evaluation of the Effectiveness of Bacterial Strains on the Germination and Biometric Parameters of Winter Wheat Varieties Tyumen-1.

A.Yu.Kulakova, O.V.Domanskaia  
TyumSoGU (TSOGU) cryogenic resources Institute (Institute of cryogenic resources) Tyumen

### Abstract

In the paper it was presented the result of investigation the growth-promoting activity and influence on sowing qualities of winter wheat with promising strains of bacteria *Bacillus 3M* of permafrost Mammoth Mountain, Yakutia and strains of bacteria *Bacillus cereus* IP 5832, *Streptococcus anginosus* № 9, *Myroides odoratus*. It was shown that the use of these strains of microorganisms at different temperatures of incubation (+ 5°C; + 20°C) increased the germination and seedling biometric indicators in the early stages of development. This manifestation of the growth-promoting activity of strains promising for the development of biological products based on their multifunctional type of action.

**Key Words:** winter wheat; bacterial strains; promoting effect; germination; biometrics; biological product.

### Введение

Важнейшей отраслью растениеводства является зерновое хозяйство. К одной из ведущих злаковых культур мирового потребления относится пшеница. Зерно пшеницы на одну треть обеспечивает суточную потребность организма человека в энергетическом материале и почти на одну четверть - в белковых веществах [Журавлева 2012].

В условиях нашей страны озимая пшеница обладает наиболее высоким биологическим потенциалом продуктивности и лучше яровой использует биоклиматические ресурсы регионов [Шелепов и др. 2009]. Поэтому роль этой культуры в решении продовольственной проблемы становится более значимой.

Мировой и отечественный опыт свидетельствует о том, что в современных условиях добиться заметного повышения качества зерна озимой пшеницы возможно на основе комплексного подхода к разработке и внедрению адаптивных систем земледелия, экологических технологий выращивания с учетом почвенно-климатических условий

[Мельник 2011], а так же комплекс мероприятий по борьбе с сорняками, болезнями и вредителями [Зезин Воробьев 2010].

Получение высоких урожаев невозможно без интенсивного использования различных средств и методов защиты растений. В настоящее время против вредителей и болезней сельскохозяйственных культур в большинстве случаев применяются химические средства защиты растений. Следует отметить, что, наряду с высокой эффективностью в подавлении численности вредных организмов, химические пестициды вызывают возникновение резистентности у патогенов и появлению видов не восприимчивых к химическим воздействиям. Это объясняется тем, что происходит постепенное приобретение устойчивости возбудителей заболеваний к таким препаратам [Котляров Сединина 2014].

Не смотря на это, химический метод, бесспорно, продолжает оставаться важнейшим средством оперативного сдерживания патогенов [Лунев 2005], однако ухудшения фитосанитарной обстановки и общей экологической ситуации в регионах России требуют

новых подходов в развитии и использовании средств и способов биологической защиты.

Применение биологических средств защиты растений правительством РФ отнесено к приоритетным направлениям развития науки. Биологическая защита растений на современном этапе включает использование веществ биотического происхождения и применение биопрепаратов на основе живых культур микроорганизмов [Штерншис 2012].

Известно, что микроорганизмы являются источником доступных для растений элементов минерального питания и способны выделять различные антибиотические вещества, защищающие растения от болезней и вредителей. Именно микроорганизмы переводят элементы питания, содержащиеся в минералах и органическом веществе почвы, в усвояемую форму. Причем метаболиты микроорганизмов содержат не только элементы минерального питания, но и стимулирующие рост и развитие растений вещества (синтез вторичных метаболитов) [Дятлова 2001, Завалин Алметов 2009].

Ряд почвенных сапротрофных микроорганизмов (в том числе бактерии рода *Bacillus*) способны синтезировать вещества, вызывающие у растений изменение физиологического состояния и индукцию резистентности к фитопатогенам.

Обработка семян способствует более интенсивному накоплению биомассы растения, формированию фотоассимиляционного аппарата, кроме того, они повышают устойчивость растений к фитопатогенам [Немченко Цыпышева 2014].

Успешность микробиологического метода во многом определяется выбором микроорганизмов, способных обеспечить эффективную защиту в течение вегетационного периода. Потенциальными биологическими агентами, перспективными для защиты растений от фитопатогенов, могут быть бактериальные штаммы, выделенные из многолетнемерзлых отложений, отличающиеся высокой биологической активностью и устойчивостью к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Целью исследований было оценить эффективность предпосевной обработки семян озимой пшеницы бактериальными штаммами для повышения всхожести и стимуляции роста проростков на ранней стадии их развития.

В качестве бактерий-стимуляторов использовали изолят *Bacillus 3M* из коллекции отдела биоресурсов криосферы ТюмНЦ СО РАН (выделенный из многолетнемерзлых отложений Мамонтовой горы, Якутия), *Bacillus cereus* IP 5832 входящий в состав препарата Бактисубтил (Институт Пастера, Париж), *Streptococcus anginosus* № 9 и *Myroides odoratus* выделенные из клинического материала (г.Тюмень).

### Условия, материалы и методы

Для оценки ростостимулирующей активности бактериальных штаммов, инокуляцию семян озимой

пшеницы (Тюменская-1) проводили непосредственно перед посевом, путем замачивания семян в бактериальной суспензии в течение 30 минут. Бактериальные штаммы культивировали на мясо-пептоном агаре в течение 48 часов. Суспензии культур получали путем смывов бактериальной массы с чашки Петри и последующего доведения стерильной дистиллированной водой до объема 15 мл. Численность жизнеспособных клеток бактерий в суспензии составляла  $1,0 \times 10^9$  и  $0,5 \times 10^9$  кл/мл. В контрольном варианте семена обрабатывали стерильной водопроводной водой. Проращивание семян проводили в чашках Петри на ложе из фильтровальной бумаги, смоченной дистиллированной водой. Семена инкубировали в термостате при температуре  $+5^\circ\text{C}$  и  $+20^\circ\text{C}$ . На каждый вариант опыта было использовано 100 семян в четырех кратной повторности. Всхожесть определяли по ГОСТ 12038-84 на седьмые сутки. Биометрические показатели проростков определяли на 30-й день наблюдения.

Наличие ростостимулирующего, ингибирующего или нейтрального эффекта определяли, сравнивая всхожесть, длину побега, колеоптиля, первого листа и корня в контроле и опытных вариантах.

### Результаты и обсуждения.

Результаты исследований показали, что всхожесть семян зависит от концентрации клеток в бактериальной суспензии и от температуры культивирования.

Наибольшие показатели всхожести наблюдались в опыте при обработке семян бактериальными суспензиями *Myroides odoratus* и *Bacillus 3M* с концентрацией  $0,5 \times 10^9$  кл/мл и  $1,0 \times 10^9$  кл/мл. Бактериальный штамм *Myroides odoratus* увеличивал всхожесть семян при температуре инкубирования  $+5^\circ\text{C}$ , а *Bacillus 3M* при  $+20^\circ\text{C}$  (рис.1) При обработке семян бактериальными штаммами *Bacillus cereus* IP 5832 и *Streptococcus anginosus* № 9, показатели всхожести оставались на уровне контроля.

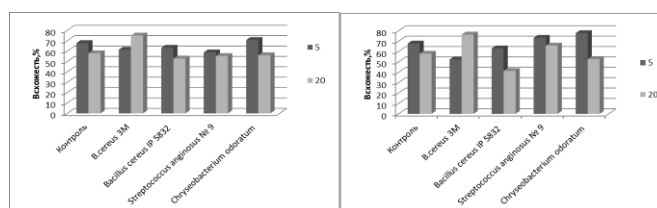


Рис. 1. Влияние предпосевной обработки семян озимой пшеницы, бактериальными суспензиями, на всхожесть: а) титр -  $0,5 \times 10^9$  кл/мл; б) титр -  $1,0 \times 10^9$  кл/мл.

На 30-й день инкубирования у проростков измеряли среднюю длину побегов, колеоптиля, первого листа и корня [Ничипорович 1969]. Анализ полученных данных показал, что средняя длина проростков семян, озимой пшеницы в опыте, с титром бактериальных суспензий  $1,0 \times 10^9$  кл/мл и  $0,5 \times 10^9$  кл/мл, во всех вариантах превышает контроль (рис.2), кроме опыта с температурой культивирования  $+5^\circ\text{C}$ , где наблюдается угнетение роста при обработке семян бактериальными штаммами *Bacillus*

3М, *Bacillus cereus* IP 5832 и *Streptococcus anginosus* № 9 по сравнению с контролем. (рис.3).

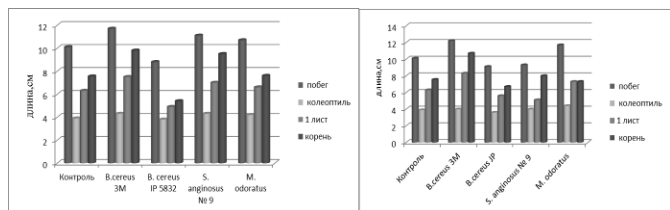


Рис. 2. Влияния концентраций бактериальных суспензий: а)  $0,5 \cdot 10^9$  кл/мл; б)  $1,0 \times 10^9$  кл/мл, на биометрические показатели проростков озимой пшеницы (температура  $+20\text{C}^\circ$ ).

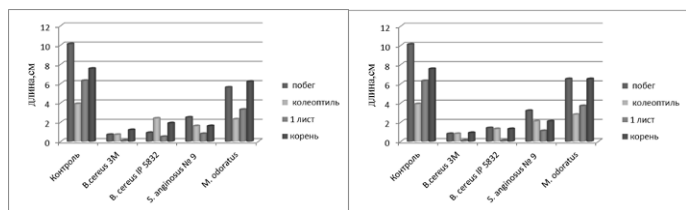


Рис. 3. Влияния концентраций бактериальных суспензий: а)  $0,5 \cdot 10^9$  кл/мл; б)  $1,0 \times 10^9$  кл/мл, на биометрические показатели проростков озимой пшеницы (температура  $+5\text{C}^\circ$ ).

Таким образом, установлено, что обработка семян бактериальными штаммами *Myroides odoratus* и *Bacillus 3M* способствует более активному росту растения и тем самым ускоряет процесс прорастания семян.

Приведенные исследования указывают на возможность практического использования бактерий, для повышения всхожести семян и стимуляции роста проростков. Применение препаратов на основе ростостимулирующих бактерий, позволит снизить химическую нагрузку на экосистемы, вследствие уменьшения количества применяемых минеральных удобрений и химических средств защиты растений, а так же приведет к повышению урожайности и улучшению качества экологически чистой продукции.



## Литература

- Дятлова К.Д. Микробные препараты в растениеводстве // Соросовский образовательный журнал. - 2001. №5. – С.17-22.
- Журавлева Е.В. Новые сорта озимой пшеницы для Нечерноземья // Агро XXI. - 2012.-№ 7/9. - С. 8-10.
- Завалин А.А., Алметов Н.С. Применение биопрепаратов и биологического азота в земледелии Нечерноземья. – М.: Изд-во ВНИИА, 2009. – 152 с.
- Зезин Н.Н., Воробьев В.А. Хлебопекарная пшеница Уральской селекции // Достижения науки и техники АПК. – 2010. №11. – С. 40-42.
- Котляров В.В., Сединина Н.В. Особенности малотоннажного производства микробиологических препаратов для защиты растений и его оптимизация // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. №100 (06). – С. 1-19.
- Лунев М.И. Мониторинг пестицидов в окружающей среде и продукции: эколого-токсикологические и аналитические аспекты // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2005. – XLIX №3. – С. 64-70.
- Мельник А.Ф. Предшественник - основа повышения качества зерна озимой пшеницы // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2011. №3 том 30. С. 43-46.
- Немченко В.В., Цыпышева М.Ю. Влияние биопрепаратов и регуляторов роста на структуру урожая и продуктивность яровой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. №8 (118). – С. 5-8.
- Ничипорович А.А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах – М.: Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина, 1969. -92 с.
- Шелепов В.В., Чебаков Н.П., Вергунов В.А. и др. Пшеница: история, морфология, биология, селекция. – Мироновка: ЗАТ Мироновская типография, 2009. - 575 с.
- Штерншис М.В. Тенденции развития биотехнологии микробных средств защиты растений в России // Вестник Томского государственного университета. Биология. - 2012. №2 (18). - С. 92-100.

## Микростроение диатомовых илов гидратонасыщенных отложений Охотского моря

А.Н.Курчатова, Е.А.Слагода

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

А.И.Обжиров, Р.Б.Шакиров

*Тихоокеанский океанологический институт им. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток*

В.В.Рогов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Представлены результаты исследований микростроения диатомового ила гидратонасыщенных морских отложений Охотского моря. Образцы были изучены на сканирующем электронном микроскопе ТМ3000 (Hitachi), оборудованного системой спектрального микроанализа SwiftED3000 (Oxford). Микроморфологический анализ диатомовых илов, контактировавших с газогидратами, выявил их высокую пористость, которая и в мерзлом состоянии могла обеспечивать миграцию газа; различную степень химической и механической выветрелости минералов, образованную при фазовых переходах воды в осадке; стадийность новообразований сульфидов железа, обусловленную цикличностью гидратообразования и/или дискретностью поступления метана.

**Ключевые слова:** гидратонасыщенные отложения, микростроение, криогенез, аутигенные минералы.

### Microstructure of Diatomic of the Hydrate-Bearing Sediments in the Okhotsk Sea

A.N.Kurchatova, E.A.Slagoda

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

A.I.Obzhirov, R.B.Shakirov

*Ilichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia*

V.V.Rogov

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

### Abstract

The results of researches of the microstructure of diatom hydrate-bearing sediments of the Okhotsk Sea are presented. Samples were studied with a scanning electron microscope TM3000 (Hitachi) equipped by spectral microanalysis system SwiftED3000 (Oxford). Micromorphological analysis of diatom ooze contacting with gas hydrates, revealed their high porosity, which could provide gas migration in the frozen state; the varying degrees of chemical and mechanical weathering of minerals result from phase transitions of water in the sediment; the stadial generations of iron sulphides due to cyclical hydrate formation and/or discrete emission of methane.

**Key Words:** hydrate-bearing sediments, microstructure, cryogenesis, authigenic minerals.

### Введение

Охотское море является одним из активных районов подводной газовой разгрузки в северном полушарии и наиболее интересным объектом в Дальневосточном регионе по изучению газогидратов метана [Обжиров Телегин 2009]. В пределах акватории выявлено два района распространения газогидратов в донных отложениях (западный борт впадины Дерюгина вблизи северного Сахалина и юго-восточный борт Гольгинского прогиба в прибрежье о-ва Парамушир) и предполагается еще несколько гидратоносных площадей. Отмечено около 500 выходов природного газа (преимущественно метанового состава) из донных отложений в воду и 14 структур, где обнаружены газовые гидраты.

### Методика исследований

Талые образцы осадка, в мерзлом керне контактировавшего с газогидратами, были повторно заморожены и подготовлены к исследованию методом реплик [Рогов Курчатова 2014]. Реплики исследованы методами электронной микроскопии и спектрального микроанализа с применением СЭМ ТМ3000 (Hitachi), оборудованного системой SwiftED3000 (Oxford). Микростроение отложений, компоненты осадка, криогенная текстура несут в себе генетические признаки накопления осадка и его диагенетических изменений. Наиболее показательным преимуществом метода является изучение аутигенных минералов, поскольку регистрируются не только их морфология и состав, а

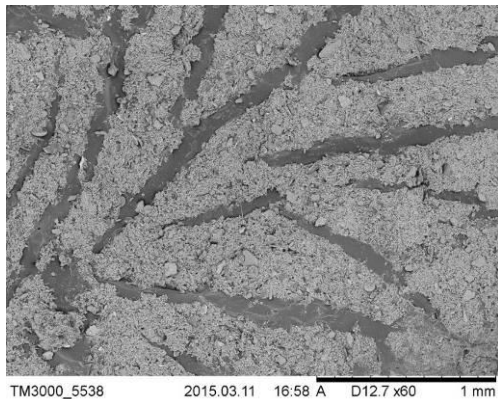




также пространственное расположение и взаимодействие с другими компонентами породы.

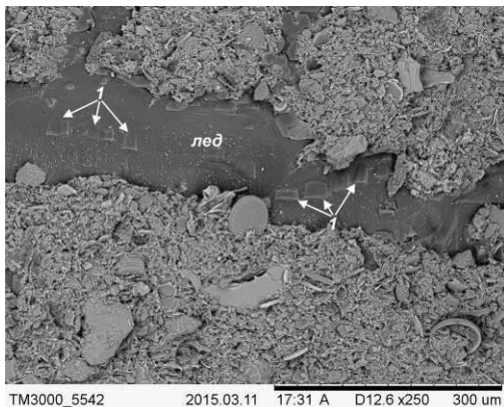
## Результаты

В образцах слабо уплотненного диатомового ила установлена хаотическая тонкошлировая (толщина до 100-150 мкм) текстура, характерная для эпигенетически промерзших отложений (рис.1). Фигуры травления [Рогов 2009] указывают на перпендикулярную простирацию шлиров ориентировку кристаллов льда (рис.2).



TM3000\_5538 2015.03.11 16:58 A D12.7 x60 1 mm

Рис. 1. Хаотическая тонкошлировая криогенная текстура диатомового ила во вторично промороженных образцах, СЭМ.



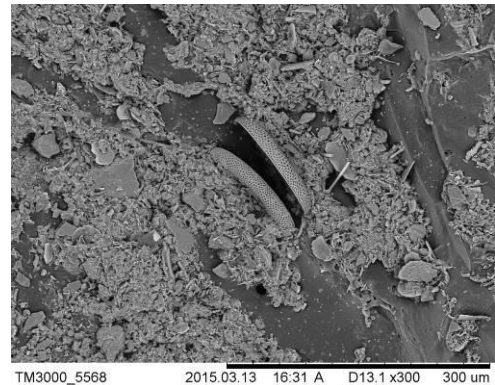
TM3000\_5542 2015.03.11 17:31 A D12.6 x250 300 um

Рис. 2. Фигуры травления (1) льда отражают столбчатое строение кристаллов в шлере, СЭМ.

Вдоль границ ледяных шлиров отмечено относительное уплотнение более глинистых участков осадка и более высокая пористость фрагментов с преобладанием диатомовых. Выделение льда практически не приводит к разрушению диатомовых, – зафиксировано деликатное разделение створок в результате роста кристаллов льда (рис.3). В отложениях наблюдается высокая степень химической выветрелости зерен полевых шпатов (рис.4), в отличие от гладкой, без следов растворения поверхности кварца (рис.5).

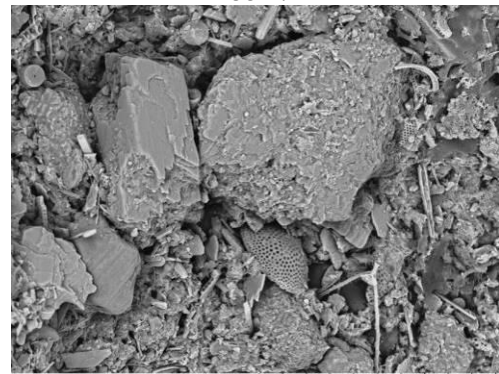
Свежие сколы на зёрнах кварца могут быть объяснены циклическими фазовыми переходами вода – лёд, поскольку в этих условиях кварц слабо устойчив к дроблению, и новые сколы многократно обновляют поверхность. Существование циклических переходов на фронте гидратообразования в природных условиях можно предположить на основании экспериментально

установленного вторичного гидратообразования при оттаивании образцов дисперсных грунтов [Якушев, 2009].



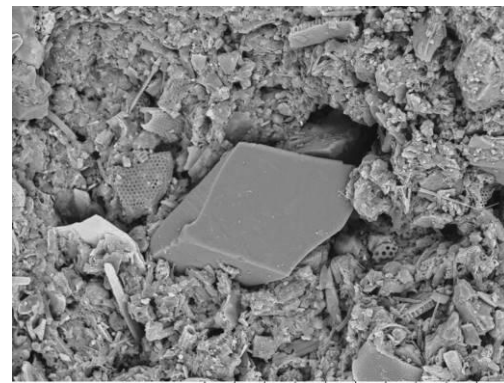
TM3000\_5568 2015.03.13 16:31 A D13.1 x300 300 um

Рис. 3. Разделение диатомовых створок при льдообразовании, СЭМ.



TM3000\_5545 2015.03.11 17:46 A D12.2 x800 100 um

Рис. 4. Выветрелые зерна полевых шпатов, СЭМ.



TM3000\_5555 2015.03.12 18:38 A D12.7 x1.0k 100 um

Рис. 5. Свежая поверхность граней кварца, СЭМ.

В осадке среди аутигенных минералов наиболее широко распространен пирит. Сферолиты сульфидов железа рыхлого сложения размером 3-10, редко до 20 мкм, состоят из отдельных кристаллов до 1 мкм, преимущественно пентагон-додекаэдрического, реже октаэдрического облика (рис.6). Сульфиды железа – типичные аутигенные минералы морских отложений, а сферолиты пирита наиболее характерны для осадков вблизи метановых сипов [Kohn et al. 1998]. В образцах наблюдается отмеченная и другими исследователями [Merinero et al. 2008] приуроченность аутигенного пирита к створкам диатомовых.

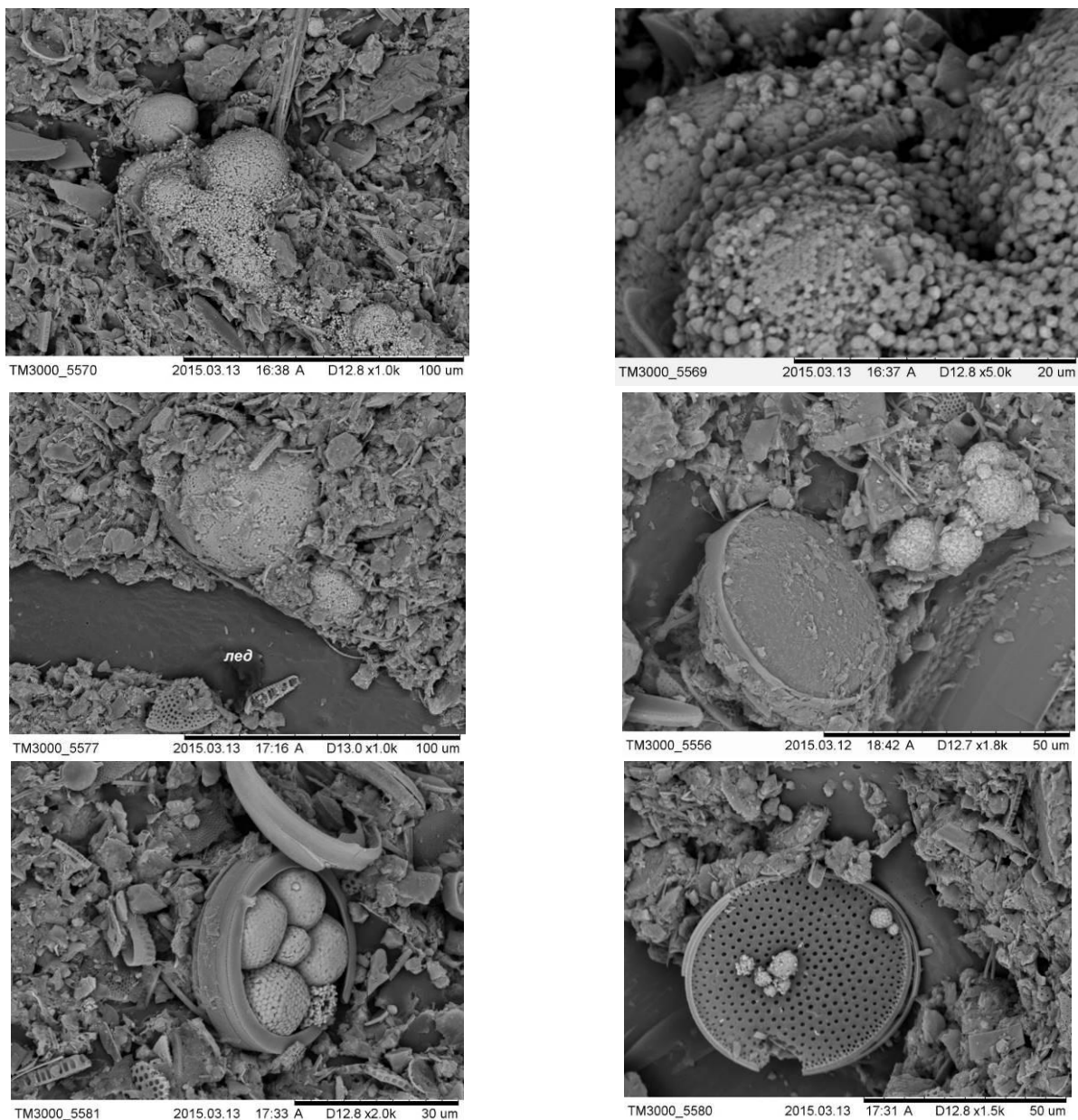


Рис. 6. Аутигенный пирит в диатомовых илах, микрофотографии СЭМ.

Практически однородные сферолиты пирита рыхлого сложения возможно относится к одной генерации. Отмечены единичные скопления пирита с более крупными кристаллами в коллоиде (рис.7), и коллоидальные сростки сульфида железа, вероятно, гидротроилита (рис.8). Барит представлен в осадке редкими включениями – оолитами размером около 20 мкм (рис.9). Плотные стяжения характерны для морских илов, осаждавшихся или образованных в ходе их диагенеза при положительных температурах. Эти формы отличаются от новообразованных игольчато-звездчатых форм барита в циклично промерзавших прибрежно-морских отложениях Карского региона [Слагодина и др. 2014]. Также обнаружены единичные выделения лантаноидов на органике (рис. 10).

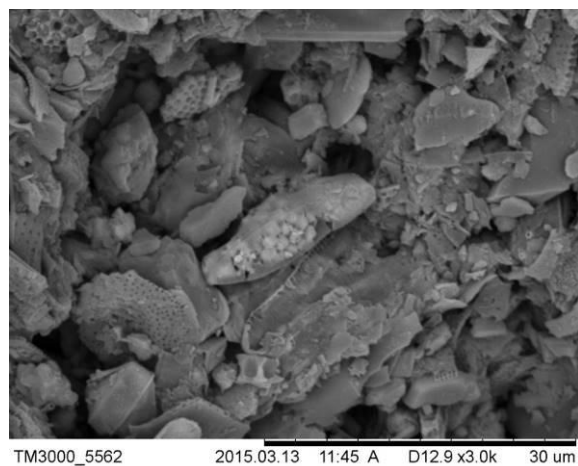
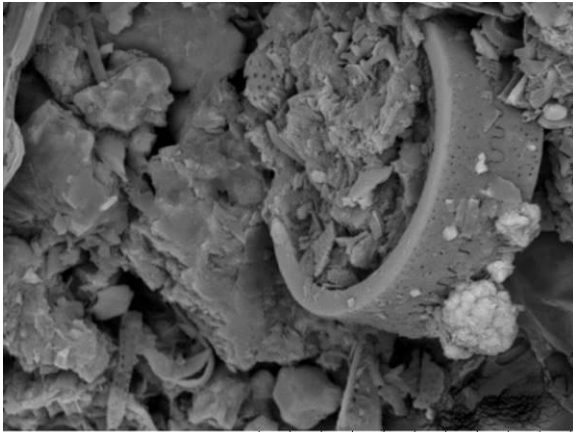
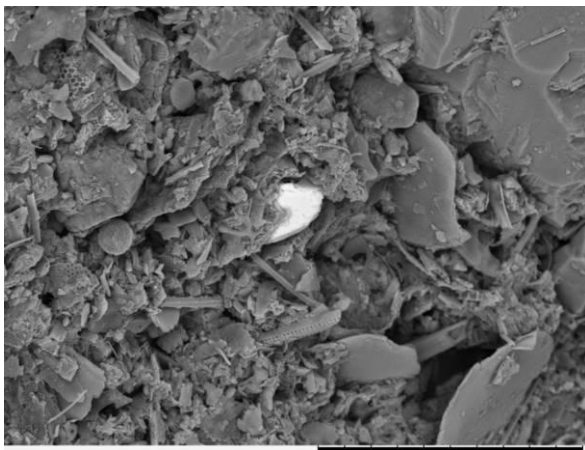


Рис. 7. Скопление пирита в коллоидной оболочке, СЭМ.



TM3000\_5579 2015.03.13 17:29 A D12.9 x3.0k 30 um

Рис. 8. Сrostки коллоидального сульфида железа на диатомовой водоросли, СЭМ.



TM3000\_5544 2015.03.11 17:43 A D12.5 x1.5k 50 um

Рис. 9. Новообразованный барит в илах, СЭМ.

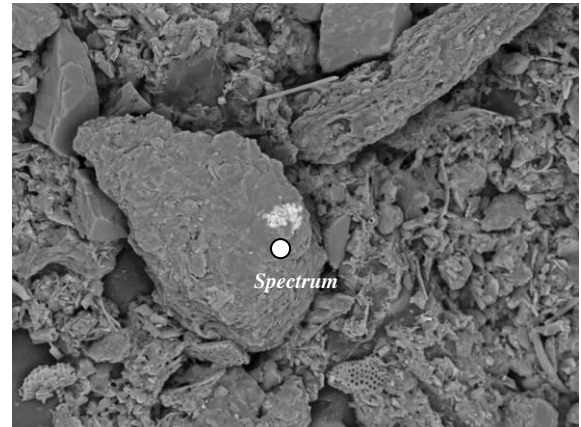
Карбонат кальция обнаружен только в строении глинисто-кальцитовой оболочки разрушенных раковин фораминифер (рис.11), что, возможно, отражает частичное растворение раковин (их утонение) и образование вторичных игольчатых кристаллов кальцита [Логвиненко Орлова 1987].

### Выводы

Микроморфологический анализ диатомовых илов, контактировавших с газогидратами, выявил:

- высокую пористость диатомовых илов, которая и в мерзлом состоянии могла обеспечивать миграцию газа;
- различную степень химической и механической выветрелости минералов – полевых шпатов и кварца, что может быть обусловлено циклическими фазовыми переходами вода – лёд в осадке при гидратообразовании;
- генерации новообразований сульфидов железа, возможно образованные в результате циклического гидратообразования или/и дискретным поступлением метана.

Таким образом, исследование микростроения мерзлых и талых ненарушенных образцов морских илов является перспективным для установления признаков присутствия и разложения газовых гидратов в толщах донных осадков.



TM3000\_5571 2015.03.13 16:45 A D12.8 x1.0k 100 um

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
C	13.919	0.548	37.046
O	17.029	0.409	34.026
Mg	0.542	0.117	0.712
Al	1.712	0.123	2.028
Sil	7.211	0.186	8.207
P	5.519	0.260	5.696
La	13.438	0.567	3.092
Ce	28.839	0.641	6.579
Nd	11.792	0.591	2.613

Рис. 10. Осаждение лантаноидов на коллоидно-дисперсной пленке на поверхности минерального зерна, СЭМ, спектр.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 14-17-000131).

### Литература

- Данилов И.Д. Пластовые льды и субаквальный криолитолиз // Геокриологические исследования. – М.: МГУ. 1989. – С. 16-29.
- Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. – Новосибирск: Наука, 1995. – 198 с.
- Обжиров А.И., Телегин Ю.А. Метан нефтегазодержащих пород – основной источник формирования газогидратов в Охотском море // Газохимия. 2011. № 1. – С. 44-49.
- Рогов В.В. Основы криогенеза. Новосибирск: Гео, 2009. – 202 с.
- Рогов В.В., Курчатова А.Н. Патент RU 2528256. Способ изготовления реплик для исследования микростроения мерзлых пород в растровом электронном микроскопе. – Бюл. № 25 (10.09.2014).

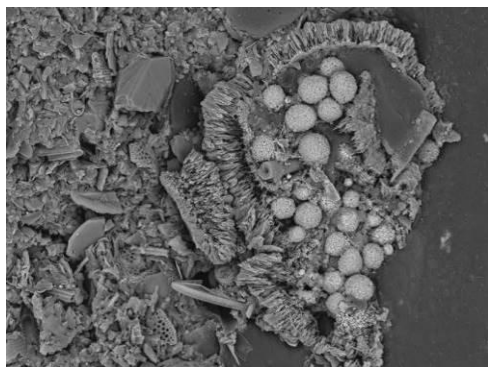
Слагода Е.А., Курчатова А.Н., Попов К.А., Томберг И.В., Опокина О.Л., Никулина Е.Л. Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море: микростроение и признаки криолитогеоза (сообщение 2) // Криосфера Земли, 2014, т.18, №1. – С. 12-22.

Якушев В.С. Формирование скоплений природного газа и газовых гидратов в криолитозоне. Автореф. дисс. д.г.-м.н. – М.: 2009.

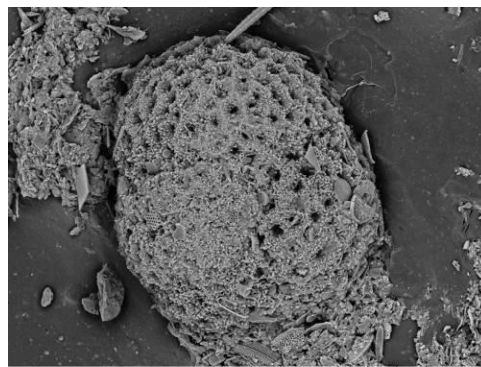
Kohn M.J., Riciputi L.R., Stakes D., and Orange D.L. Sulfur isotope variability in biogenic pyrite: Reflections of

heterogeneous bacterial colonization? American Mineralogist, 1998, V. 83, pp.1454–1468.

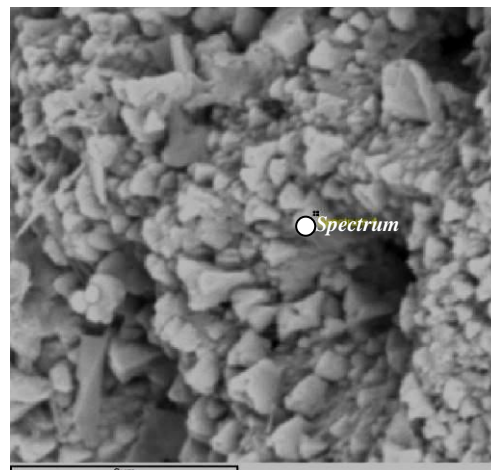
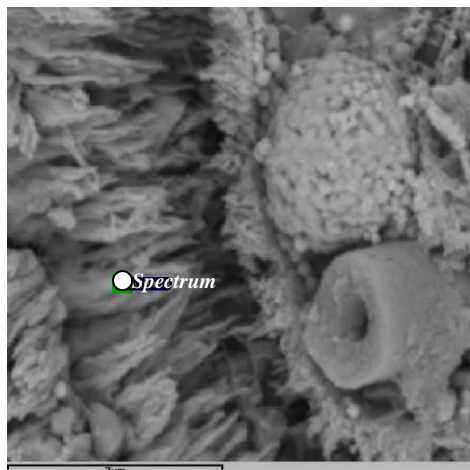
Merinero R., Lunar R., Martinez-Frias J., Somoza L., Diaz-del-Riod V. Iron oxyhydroxide and sulphide mineralization in hydrocarbon seep-related carbonate submarine chimneys, Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula). Marine and Petroleum Geology, 25, 2008, pp. 706-713.



TM3000\_5535 2015.03.11 16:45 A D12.5 x1.0k 100 um



TM3000\_5573 2015.03.13 16:50 A D12.8 x500 200 um



Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
C	13.874	0.411	22.225
O	49.477	0.439	59.501
Al	1.247	0.060	0.889
Si	2.506	0.073	1.717
Cl	0.324	0.053	0.176
Ca	31.510	0.301	15.126
Fe	1.063	0.144	0.366

Element	Weight %	Weight % $\sigma$	Atomic %
C	17.899	0.278	26.177
O	56.123	0.319	61.620
Mg	1.630	0.061	1.178
Al	0.322	0.044	0.210
Si	1.525	0.053	0.954
Ca	22.502	0.184	9.862

Рис. 11. Фораминиферы в диатомовых илах, СЭМ, спектры.

## Строение каменного глетчера Сукорского обвала (Горный Алтай) по данным электротомографии

А.А.Лапковская, В.В.Оленченко, В.В.Потапов, А.Н.Шейн, Е.С.Горностаева, Д.И.Губин  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

### Реферат

Представлены результаты исследований строения одного из каменных глетчеров Горного Алтая методом электротомографии. В результате исследований установлено, что разновозрастные генерации каменных глетчеров отличаются по удельному электрическому сопротивлению (УЭС) ледяных ядер. Для наиболее древней генерации глетчера характерны самые низкие УЭС льда (80000-160000 Ом·м). Самая молодая генерация каменного глетчера характеризуется очень высоким УЭС (250000-820000 Ом·м). По известной зависимости УЭС ледникового льда от температуры сделана оценка температуры ледяных ядер. У глетчера старой генерации температура льда от минус 0,6 до минус 1,0°C, у активного глетчера молодой генерации – минус 1,9°C. Сделан вывод, что метод электротомографии не позволяет однозначно определить толщину ледяного тела глетчера в силу экранирующего эффекта.

**Ключевые слова:** Горный Алтай; каменный глетчер; лёд; многолетнемёрзлые породы; электротомография

## The Structure of the Rock Glaciers Sukorsky Collapse (Gorny Altai) According Electrical Resistivity Tomography

A.A.Lapkovskaya, V.V. Olenchenko, V.V.Potapov, A.N.Shein, E.S.Gornostaeva, D.I.Gubin  
Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk

### Abstract

Inversion and interpretation of electrical resistivity tomography (ERT) data of a rock glacier in Altai Mountains are presented. It was shown that there were three generations of rock glaciers, which sediments were divided according to the difference in electrical resistivity of ice nuclei. For the most ancient generation of rock glacier is characteristic values the lowest electrical resistance of ice (80000-160000 Ohm-m). The youngest generation of rock glacier was characterized by very high electrical resistance (250000-820000 Ohm-m). With the help of the known dependence of the electrical resistance of rock glacier ice on the temperature the estimate of the temperature of ice nuclei was made. The rock glacier of the old generation had an ice temperature of minus 0.6 - minus 1,0 ° C, while the active glatcher of the young generation had - minus 1,9 ° C. Electrical resistivity tomography could not allow us to determine the thickness of the ice body of the glatcher due to the masking effect.

**Key Words:** Altai Mountains; electrical resistivity tomography; ice; permafrost; rock glaciers;

### Введение

Каменные глетчеры широко распространены на территории Горного Алтая [Останин 2013]. Согласно определения, они представляют собой стратифицированные (слоистые) сцементированные конжеляционным льдом грубообломочные образования, имеющие вид языков, лопастей и террасовидных шлейфов со слабонаклонной поверхностью и крутым фронтальным уступом, способные к монолитному пластическому течению путем деформации содержащегося в них льда. Каменные глетчеры формируются в пределах криолитозоны в результате промерзания ледниковых и коллювиальных отложений, но в отличие от настоящих ледников, имеют преобладающее обломочное питание, не проявляют жесткой связи со снеговой границей, но подчиняются морфоклиматической зональности и поясности [Галанин 2009].

Исследования каменных глетчеров связаны с вопросами их генезиса, разработкой теоретических

представлений о механизмах их формирования, палеогеографических и палеосейсмогеологических реконструкций, проектирования строительства, экологических обоснований и прогноза чрезвычайных ситуаций [Галанин 2009]. Кроме того, каменные глетчеры могут рассматриваться как законсервированные источники пресной воды.

Процесс изучения каменных глетчеров сопряжен с определёнными трудностями, связанными с практически невозможным проведением горно-буровых работ или проходке шурфов в теле глетчеров. В связи с этим современные представления о внутреннем строении глетчеров основаны на умозрительных заключениях и на редких наблюдениях естественных обнажений разрезов глетчеров в маргинальных каналах, сейсморазрывах или провалах.

В зарубежной практике гляциальных исследований (в Европе, Южной Америке, Антарктиде) для изучения внутреннего строения каменных глетчеров активно применяются геофизические методы [Farbrot et al. 2005, Francou et al. 1999, Hassinger & Mayewski 1983, Hilbich et

al. 2009, Maurer & Auck 2007, Onaca et al. 2011]. Электротомография [Loke 2009] является одним из ведущих методов при изучении каменных глетчеров и часто применяется в комплексе с георадиолокацией или сейсморазведкой на преломлённых волнах.

В тоже время нам не известны результаты исследований каменных глетчеров на территории России, выполненные с использованием геофизических методов. В данной работе впервые представлены результаты исследований с применением метода электротомографии на территории Горного Алтая.

### Характеристика объекта исследований

Район исследований расположен в Кош-Агачском районе республики Алтай. Участок исследований находится между Курайской и Чуйской степями, на Чаган-Узунском блоке, у подножия горы Сукор (абс. 2926 м).

Учатонок расположен в поясе прерывистого распространения многолетнемерзлых пород (ММП) [Шац 1978]. Мощность ММП на абсолютной высоте 2900 достигает 350-400 м, значение температуры на склоне северной экспозиции составляет минус 5 °С. По данным геотермических наблюдений 1970-1973 годов в 4 км к юго-западу от с. Чаган-Узун (абс. 1830 м) среднегодовая температура воздуха составляет около минус 3°С, при этом температура многолетнемерзлых пород порядка минус 0,5 °С [Шац 1978].

В геологическом строении территории участвуют баратальская свита, представленная известняками, доломитами и силицитами, а также арыджанская свита, включающая в основном вулканогенный, лавовый материал: пиллоу-лавы базальтов, сланцы.

Северный склон г. Сукор представляет собой цирк, который рассматривается как палеосейсмодислокация в которой сформировался оползень-обвал [Деев и др. 2012]. Внутренняя часть цирка заполнена обвально-осыпными отложениями, состоящими из глыб, валунов, щебня, предполагаемой мощностью 70-100 метров. Внутри цирка располагается несколько каменных глетчеров различных генераций (рис. 1а).

Наиболее старые генерации расположены в нижней части цирка, они покрыты лесом и на их поверхности развиты глубокие ниши вытаивания. Самая молодая генерация расположена в центральной части цирка у подножия стенки отрыва. На поверхности молодого глетчера в краевых частях растут одиночные деревья, формируя, из-за подвижек поверхности, «пьяный» редкий лес. В центральной части растительности практически нет, встречаются одиночные молодые деревца сосны и лиственницы высотой около 1,5 м и кусты багульника. На поверхности развиты напорные валы из крупных валунов и ниши вытаивания.

Фронтальные уступы каменных глетчеров (как молодых, так и старых) очень крутые, что является признаком ледяного ядра внутри. По краям глетчеров в маргинальных каналах текут небольшие ручьи, источником которых, вероятно, является тающий глетчерный лёд.

Основной профиль электрических зондирований начинался в долине р. Чуя (абс. 1723 м) и поднимался вверх, пересекая несколько разновозрастных генераций глетчера до высоты 2005 м. Дополнительный профиль проходил вкост основного профиля (рис. 1б).

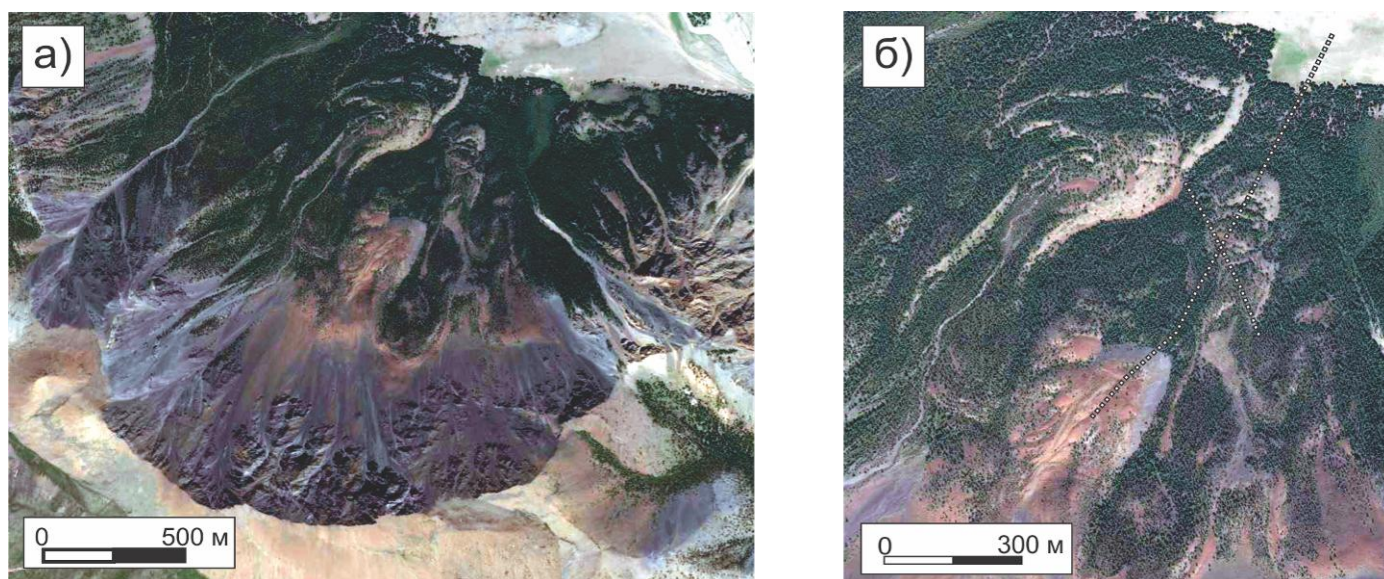


Рис. 1. Космоснимок Сукорского обвала (а) и каменных глетчеров в цирке (б). Пунктирной линией показаны профили электротомографии

## Методика исследований

Электрические зондирования выполнялись по технологии электротомографии (ЭТ). Измерения проводились многоэлектродной электроразведочной станцией «СКАЛА-48» [Балков 2012].

Последовательность подключения электродов соответствовала симметричной установке Шлюмберже ( $AB_{\max}=235$  м) и трёхэлектродной (поле-диполь) прямой и встречной установкам ( $AO_{\max}=215$  м). Шаг измерений по профилю составлял 5 м. Максимальная глубинность исследований составила 80 м.

Устройство заземлений на поверхности глетчеров осуществлялось с подливом солёной воды, что позволяло значительно снизить сопротивления заземлений до приемлемых значений (с первых сотен до первых десятков кОм). Сила тока в питающей линии АВ при измерении трёхэлектродными установками составляла 2-20 мА, напряжение на питающих электродах - 50-5000 мВ.

Инверсия данных зондирований осуществлялась в рамках двумерных моделей с учётом рельефа с помощью программы Res2Dinv [Loke 2009]. На основе полученных результатов были построены геоэлектрические разрезы по профилям и проведена их геологическая интерпретация.

## Результаты

На рис. 2 представлен геоэлектрический разрез вдоль основного профиля. В нижней части профиля у подножья цирка в разрезе выделяются талые флювиогляциальные отложения, характеризующиеся удельным электрическим сопротивлением (УЭС) 160-400 Ом·м. Здесь же в верхней части разреза отмечается горизонт высокого УЭС (2500-3000 Ом·м) мощностью 6-8 м, интерпретируемый как

высокотемпературная многолетнемёрзлая толща (ММТ). Согласно известной [СП 2004] зависимости УЭС рыхлых пород от литологического состава, эти породы представлены песками и песчано-гравийной смесью, а температура мёрзлой толщи составляет порядка минус 0,2°С.

В разрезе каменного глетчера I (интервал профиля 450-600 м) выделяются три локальных аномалии с УЭС 80000-160000 Ом·м. Эти аномалии связаны с ледяными ядрами в теле глетчера. Ядро с УЭС 80000 Ом·м располагается ближе к фронтальной части уступа и представляет собой «тёплый» лёд. Такое УЭС соответствует температуре льда минус 0,6 °С [Фролов 1998]. Каменный глетчер I – это наиболее старая генерация. На разрезе хорошо видно, что ледяные ядра залегают глубоко (10-12 м), они находятся в стадии деградации, что выражается в появлении на поверхности глетчера глубоких ниш протаивания.

Аномалией высокого УЭС (около 400000 Ом·м) в интервале профиля 600-700 м в разрезе выделяется каменный глетчер II. Отсутствие растительности на поверхности этого глетчера, характерные наплывные формы микрорельефа, крутые фронтальные и боковые уступы, а также высокое электрическое сопротивление ядра говорят о том, что этот глетчер находится в активной стадии, в процессе движения по склону.

Выше по склону (интервал 700-1000 м) профиль проходит по обвально-осыпным отложениям цирка. Здесь в верхней части разреза выделяется слой пониженного (2000-3000 Ом·м) УЭС мощностью до 2,5 м, который соответствует сезонно-талому слою. Ниже залегают горизонт пород с сопротивлением 5000-30000 Ом·м мощностью 20-25 м, интерпретируемый как слой многолетнемёрзлых пород.

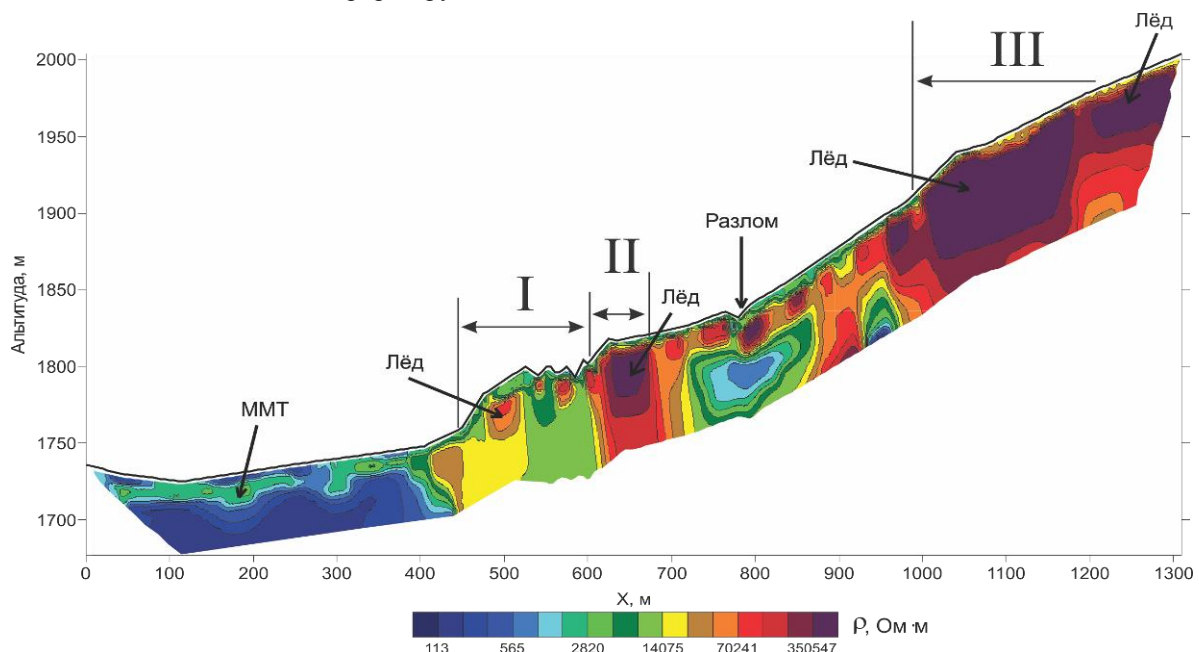


Рис.2. Геоэлектрический разрез по основному профилю. Римскими цифрами отмечены тела каменных глетчеров разных генераций

Этот слой содержит ядра высокольдистых грунтов или чистого льда, которые выделяются локальными аномалиями УЭС 150000-400000 Ом·м.

Разломная зона, выраженная в рельефе сейсмическим рвом в районе 800 м, отображается на геоэлектрическом разрезе областью пониженного сопротивления, что мы связываем с обводненностью тектонического нарушения.

В верхней части профиля (интервал 1000-1300 м) разрез характеризуется исключительно высоким удельным электрическим сопротивлением 250000-820000 Ом·м. Здесь профиль пересекает самую молодую генерацию каменного глетчера, активную в настоящее время.

По данным ЭТ кровля ледяного тела каменного глетчера I залегает на глубине 4-5 м. В среднем УЭС льда здесь составляет около 400000 Ом·м, что по зависимости [Фролов 1998] соответствует температуре минус 1,9 °С.

В силу особенностей метода электротомографии, из-за эффекта экранирования электрического тока, нам не удалось однозначно определить мощность ледяных ядер в каменных глетчерах молодой генерации. По аномально высокому УЭС мы можем только установить наличие льда в теле глетчера, определить глубину залегания верхней кромки, но установить его нижнюю границу и определить толщину льда по данным ЭТ не представляется возможным.

Для решения данной проблемы необходимо привлечение дополнительных методов. Одним из таких методов может быть георадиолокация, основанная на различии сред по диэлектрической проницаемости.

### Выводы

В результате исследований установлено, что лёд внутри каменных глетчеров разновозрастных генераций различается по удельному электрическому сопротивлению.

У глетчера поздней генерации ледяное ядро залегает глубоко (10-12 м) и обладает относительно низким УЭС (80000-160000 Ом·м). По известной зависимости УЭС ледникового льда от температуры предполагается, что температура внутри старого глетчера составляет от минус 0,6 до минус 1,0 °С.

В активных глетчерах молодой генерации УЭС ледяного ядра достигает 820000 Ом·м при модальных значениях 398000 Ом·м. При таких УЭС температура льда должна составлять минус 1,9 °С.

Для более точного определения глубины залегания кровли льда и установления его мощности необходимо провести георадиолокационные зондирования. По характеру волновой картины можно будет также оценить количество обломочного материала в ледяном ядре глетчера.

### Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ 14-05-00435 А «Строение и динамика горной криолитозоны, ледников и каменных глетчеров Центральной и Северо-Восточной Азии в позднем голоцене».

### Литература

- Балков, Е. В., Панин, Г. Л., Манштейн, Ю. А., Манштейн, А. К., Белобородов, В. А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика. - 2012. - №6. - С. 54-63.
- Галанин, А. А. Каменные глетчеры — особый тип современного горного оледенения северо-востока Азии // Вестник ДВО РАН. - 2005. - № 5. - С. 59-70.
- Галанин, А. А. Каменные глетчеры северо-востока России: строение, генезис, возраст, географический анализ. / А. А. Галанин // Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / СВНЦ ДВО РАН. - 2009. - С. 35.
- Деев, Е. В., Зольников, И. Д., Староверов, В. Н. 2012. Отражение быстрых геологических процессов в отложениях и текстурах (на примере разновозрастных комплексов Северной Евразии) // Литосфера. - 2012. - № 6 - С. 14-35.
- СП 11-105-97. «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. «Правила производства геофизических исследований» / Госстрой России. - М.: Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя России. 2004.- 53 с.
- Фролов, А. Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. / А. Д. Фролов – Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. - 515 с.
- Шац, М.М. Геокриологические условия Алтае-Саянской горной страны. / М.М. Шац. - Новосибирск: «Наука», 1978. – 103 с.
- Farbrot, H., Isaksen, K., Eiken, T., Kaab, A. & Sollid, J.L. 2005. Composition and internal structures of a rock glacier on the strandflat of western Spitsbergen, Svalbard // Norsk Geografisk Tidsskrift–Norwegian Journal of Geography Vol. 59, 139–148. Oslo.
- Hassinger, J.M. & Mayewski, P.A. 1983. Morphology and dynamics of the rock glaciers in Southern Victoria Land, Antarctica // Arctic and Alpine Res., 1983, vol. 15, No. 3, p. 351–368.
- Hilbich, C., Marescot, L., Hauck, C., Loke, M. H. & Mausbacher, R. 2009. Applicability of Electrical Resistivity Tomography Monitoring to Coarse Blocky and Ice-rich Permafrost Landforms.
- Loke, M.H. 2009, Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys, RES2DINV Manual, IRIS Instruments.
- Maurer, H. & Auck, C. 2007. Instruments and Methods Geophysical imaging of alpine rock glaciers // Journal of Glaciology, Vol. 53, No. 180, 2007
- Onaca, A.I., Urdea, P., Torok-Oance, M.F & Ardelean, F-M. 2011. Electrical resistivity measurements in sensitive periglacial environment from Southern Carpathians (Romania) / Annals of DAAAM for 2011 & Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, Volume 22, No. 1.





## Особенности морфологии и генезис реликтовых полигональных образований конца плейстоцена на юго-западе Западносибирской равнины

С.И.Ларин, Н.С.Ларина

*Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия,*

С.А.Лаухин

*Московский государственный строительный университет МГСУ, Москва*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

Н.Г.Шилова

*Аэрогеология, Москва, Россия,*

В.А.Алексеева

*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия,*

### Реферат

Рассматриваются результаты изучения особенностей морфологии и генезис реликтовых полигональных мерзлотных образований конца плейстоцена в юго-западной части Западно-Сибирской равнины

**Ключевые слова:** генезис; мерзлота; морфология; поздний плейстоцен; полигональные образования; реликт

### Characteristics of Morphology and Genesis of Late Pleistocene Formations of Polygonal Relics in The Southwest of the West Siberian Plain

S.I.Larin, N.S.Larina

*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

S.A.Laukhin

*Moscow State Construction University, Moscow, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

N.G.Shilova

*Aerogeologiya, Moscow, Russia*

V.A.Alekseeva

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

### Abstract

It was discussed a study of the morphology and genesis of relict polygonal sorted circles formations Late Pleistocene in the South-western part of the West Siberian Plain

**Key words:** genesis; frost; morphology; late Pleistocene; polygonal education; relict

Следы древней мерзлоты в юго-западной части Западной Сибири отмечали многие исследователи. К югу от 58°с.ш. в пределах этой территории обычно описывались единичные, реже – парные псевдоморфозы [Аубекеров Чельхьян 1974; Аубекеров 1992; Лаухин Ларин Гусельников 2012; Ларин Лаухин 2014], поэтому многие выводы о распространении в позднем плейстоцене, в пределах этой территории сплошной многолетней мерзлоты построены на ограниченном материале. Особенно это касается полосы 50-47°с.ш., где предполагается прерывистый и, возможно, островной характер многолетней мерзлоты [Аубекеров 1990; Горбунов и др. 1998 и др.; Палеоклиматы... 2009]. Кроме этого большие трудности возникают при определении времени развития многолетней мерзлоты, следы которой отражены в рельефе и осадках. Очевидно, что в ходе решения всего комплекса вопросов, касающихся палеокриологии позднего плейстоцена и голоцена

внеледниковой зоны Западной Сибири, особенно важное значение имеет поиск следов полигональных мерзлотных сетей, фиксирующих наличие сплошной мерзлоты. Находки таких геологических объектов позволяют внести большую ясность в существующие палеогеографические схемы.

Обследование авторами более 60 карьеров, а также серии обнажений в бортах долин рек Тобол, Вагай, Ишим и их притоков позволило выявить разрезы, геоморфологическое положение которых и стратиграфическая приуроченность обнаруженных следов многолетней мерзлоты позволяет предположить их позднеледниковый-позднеледниковый возраст. Сартанским временем вероятно можно датировать псевдоморфозы по ледяным и ледово-грунтовым жилам, залегающим в верхней части первых и возможно вторых надпойменных террас.

Из всех изученных авторами разрезов со следами древней мерзлоты, следы полигональных сетей, представленных грунтовыми жилами, были обнаружены всего в трех местах: возле с. Упорова, вскрыта серия из 15 жил ( $56^{\circ}16'01,6''$ с.ш.  $66^{\circ}17'02,1''$ в.д.; абс. высота 107 м, Упоровский район Тюменской области), возле с. Каменка, вскрыта серия из 13 жил (разрез Каменка 2,  $56^{\circ}40'39,7''$ с.ш.  $66^{\circ}49'30,3''$ в.д., Заводоуковский район Тюменской области) и в Кыштырлинском (Винзилинском) карьере ( $56^{\circ}55'$ с.ш.  $65^{\circ}49'$ в.д., абс.отметка 54-57м), в 40 км от Тюмени, на останце первой (?) надпойменной террасы правого борта долины р.Пышмы [Ларин Гусельников Лаухин 2012; Ларин Лаухин Гусельников 2013; Ларин Лаухин 2013; Ларин Laukhin Gusel'nikov 2013]. Возможно, что это самые южные поля полигональных псевдоморфоз по ледяным жилам, обнаруженные в этом районе к настоящему времени и свидетельствующие о наличии сплошной мерзлоты на юго-западе Западно-Сибирской равнины в конце плейстоцена. Размеры полигональных сетей в пределах изученных участков менее крупные, по сравнению с другими участками, где они достигают от 40 м до 80-90 м и даже до 120м. Особый интерес вызывают фрагменты полигональной сети, обнаруженной в Кыштырлинском карьере. Здесь наиболее хорошо виден мерзлотный генезис многочисленных грунтовых жил, мощностью от 148 до 290-390 см, расположенных друг от друга на расстоянии 18-23м. Они интерпретируются нами как псевдоморфозы по ледяным жилам и древние морозобойные трещины. Прилегающие к жилам слои в зоне контакта обычно ожелезненные и имеют характерные черты криогенных образований (изгиб слоёв вниз и т.д.). По стенке карьера, в некоторых частях разреза, слои подняты почти вертикально на «дыбы», образуя своеобразные диапировые криоструктуры.

Для реконструкции условий среды и выявления факторов формирования грунтовых жил из стенки разреза в Кыштырлинском карьере были отобраны пробы для спорово-пыльцевого анализа. Для выявления генезиса грунтовых жил из них взяты несколько проб для морфоскопии песчаных зерен.

Морфоскопический анализ показал, что очень велика доля частиц с оловым переносом, они все окатанные, гладкие, без сколов. Данные палинологического анализа 12 образцов из палеокриогенной части разреза неоднозначны, в силу заметного влияния на анализируемую толщу подстилающих палеогеновых отложений. Образцы 3б и 4б взяты на глубине 1,1 и 1,2м и 1,0-1,1 м от поверхности, из песка с включениями палеогеновых глин. В спорово-пыльцевых спектрах больше всего пыльцы разнотравья (лютиковые, розоцветные, гречишные, губоцветные, астровые), единична пыльца маревых, злаков, осоковых. Группа пыльцы древесных и кустарниковых представлена пыльцой ольхи, ивы и кустарниковых берез. Присутствуют споры зеленых мхов и папоротников семейства Polypodiaceae. Очень много пыльцы переотложенной из палеогеновых отложений: голосеменных (Picea, Picea sect. Omorica, Pinus h/p

Naploxyton, Pinus h/p Diploxylon, Patocarpus, Tsuga, Abies, Cedrus), покрытосеменных (Pterocarya, Corylus, Quercus, Carpinus, Ulmus), спор папоротников Cyathea, Osmunda, Gleichenia. Можно предположить, что были распространены разнотравно-злаковые луга, остепненные группировки с маревыми, в понижениях моховые болота. Вдоль водотоков произрастали ольха, ива и кустарниковые березы.

Образцы 5б и 6б взяты на глубине 0,9-1м и 0,8-0,9 м из песка. В спорово-пыльцевых спектрах появляется пыльца березы, увеличивается количество кустарников, березы, единична пыльца сосны и ели. Группа пыльцы травяных и кустарничковых представлена пыльцой разнотравья (лютиковые, розоцветные, бобовые, астровые), маревых, полыни. Снизилось количество переотложенной пыльцы, привнесенной из палеогеновых отложений: Tsuga, Picea, Pinus, Abies, Niedopalcis, Carpinus, Juglans, споры папоротника Cyathea. Очевидно господствовали березовые редколесья, иногда с участием сосны и ели с разнотравно-злаковым покровом. Отдельные участки занимали ксерофитные группировки с маревыми и полынью. Пески, вероятно, формировались в условиях потепления климата во время каргинского межледникового. Сходные спорово-пыльцевые спектры получены для 20-метровой террасы, разреза у пос.Мега [Левина 1979].

Образцы 7б-10б взяты на глубине от 0,7-0,8м до 0,5-0,4м из суглинков. В спорово-пыльцевых спектрах преобладает пыльца разнотравья (астровые, лютиковые, гречишные, гвоздичные, ворсянковые, лилейные, подорожниковые), единична пыльца маревых и злаковых. В группе древесных и кустарниковых отмечена пыльца кустарниковых берез (Betula sect. Fruticosa, Betula sect. nana) и ольхи. В группе спор кроме спор зеленых и сфагновых мхов появляются споры холодолюбивых плаунов Lycopodium alpinum, Lycopodium pungens, Lycopodium apperessum. Много пыльцы переотложенной из палеогеновых отложений: Tsuga, Abies, Pinus, Picea, спор папоротников Cyathea, Osmunda, зеленых водорослей Pterosperrilla. В совокупности можно предположить, что господствовали открытые ландшафты, занятые разнотравно-злаковыми лугами, остепненными группировками с маревыми, зеленомошными и сфагновыми болотами. По долинам были заросли кустарниковых берез и ольхи. Появление тундровых видов плаунов указывает на формирование суглинков в условиях похолодания и усиления континентальности климата во время позднезырянского оледенения.

Образец 11б взят на глубине 0,3-0,4 м из суглинков. При преобладающей роли пыльцы разнотравья (астровые, гвоздичные, ворсянковые, валерьяновые) возрастает роль ксерофитов (маревые). Появляется пыльца полыни. Среди древесных и кустарниковых, наряду с пыльцой кустарниковых берез (Betula sect. nana, Betula sect. Fruticosa) появляется пыльца березы. Группа спор представлена спорами зеленых и сфагновых мхов, папоротников рода Botrychium. На открытых пространствах распространялись разнотравно-злаковые луга и марево-полынные группировки. По долинам

появились березовые редколесья с подлеском из кустарниковых берез. Понижения занимали зеленомошные и сфагновые болота. Отложения, вероятно, формировались при некотором потеплении во время интерстадиала позднезырянского оледенения (беллинг ?). Образец 12б взят на глубине 0,2-0,3м из суглинков. Присутствует пыльца разнотравья (астровые, лютиковые), маревых, злаков, споры холодолюбивого плауна *Lycopodium apperessum*. Одновременное существование ксерофитов (маревые) и тундровых видов плаунов можно считать перигляциальными.

Формирование суглинков проходило в условиях похолодания климата, когда распространялись разнотравно-злаковые луга, группировки с маревыми и ассоциации с тундровыми видами плаунов. Образцы 13б и 14б взяты на глубине 0,1-0,2 и 0,1м из суглинков. В спорово-пыльцевых спектрах увеличивается количество пыльцы древесных и кустарниковых (кустарниковые березы, ольха), появляется пыльца березы, сосны и кедровой сосны. Травянистые представлены пылью разнотравья (астровые, гвоздичные, ворсянковые), маревых и осоковых. При господстве разнотравно-злаковых лугов и ксерофитных формаций с маревыми, появляется березовое редколесье с подлеском из кустарниковых берез и, возможно, участием сосны и кедровой сосны. По понижениям могла произрастать ольха и осоковые. Суглинки, вероятно, сформировались при последнем потеплении позднезырянского оледенения (аллерд ?). Близкие спорово-пыльцевые спектры получены для 20-метровой террасы у разреза Мега [Левина 1979].

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-05-00956.

### Литература

- Аубекеров Б.Ж., Челыхьян Э.В. Кайнозой зоны канала Иртыш-Караганда. Алма-Ата, 1974.-107с.  
 Аубекеров Б.Ж. Континентальные четвертичные отложения Казахстана // Автореф. докт. диссертации. – Алма-Ата: Наука, 1992. 35с.  
 Аубекеров Б.Ж. Криогенные структуры и криолитозоны плейстоцена Казахстана // Изв.АН СССР, сер.4, 1990. С.102-110.  
 Горбунов А.П. Марченко С.С., Северский Э.В., Титков С.Н.  
 Ларин С.И., Гусельников В.Л., Лаухин С.А. Криогенные структуры конца плейстоцена на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Десятая

Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. – Тюмень, Россия. Печатник, 2012.- с.172.

- Ларин С.И., Лаухин С.А., Гусельников В.Л. Следы сплошной многолетней мерзлоты конца плейстоцена на юго-западе Западно-Сибирской низменности // International Conference «Earth Cryology: XXI Century» is dedicated to David Gilicinsky, who was the heart and soul of these meetings in Pushcchino for many years. – Pushcchino, Russia, September 29- October 3, 2013.- S.131-132.  
 Ларин С.И., Лаухин С.А. Реликтовый криогенный морфолитогенез Ишимской равнины в позднем плейстоцене // Геоморфология и картография: материалы XXXIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013.- С. 397 - 400.  
 Larin S.I., Laukhin S.A., Gusel'nikov V.L. Traces of Continuous Permafrost Late Pleistocene in The Southwest of the West Siberian Plain // International Conference «Earth Cryology: XXI Century» is dedicated to David Gilicinsky, who was the heart and soul of these meetings in Pushcchino for many years. Pushcchino, Russia, September 29- October 3, 2013.- S.61.  
 Ларин С.И., Лаухин С.А. О следах древней мерзлоты в подтаёжном Приишимье // Ресурсы и риски регионов с мерзлотой: Материалы сессии Всемирного снежного форума (Новосибирск, 17 января 2014 г.) - Иркутск: Издательство Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, 2014.- С.42-44.  
 Левина Т.П. Палинологическая характеристика отложений позднечетвертичной ледниковой эпохи в долине Средней Оби . В сб. «Стратиграфия и палинология мезозоя и кайнозоя Сибири». Изд-во Наука, Сиб. Отд., Новосибирск, 1979.  
 Лаухин С.А., Ларин С.И., Гусельников В.Л. Первые находки следов древней мерзлоты в Курганской области // Вестник ТюмГУ, №4, 2012 (Науки о Земле). - С.104-112.  
 Палеогеокриологические исследования на равнинах и в горах Казахстана // Криосфера Земли. №2. 1998. С.3-8.  
 Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен-голоцен. Атлас-монография. / Под ред. А.А.Величко. – М.: ГЕОС, 2009.- 120с.

## Рекультивация ландшафтов некоторых районов Российской Арктики, нарушенных в результате недропользования

С.А.Лаухин

*Московский государственный строительный университет МГСУ, Москва  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

Д.С.Дроздов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Земли подверженные, техногенному воздействию, имеют разную степень нарушенности и рекультивация для них нужна разная: от невмешательства естественные природно-восстановительные процессы до полной инженерно-биологической рекультивации. Для рекультивации в условиях Арктической зоны всегда необходим индивидуальный подход. Существенно различаются особенности рекультивации в разных географических зонах и подзонах Арктики (арктическая тундра, лесотундра, северная тайга и т. п.) или их частей, включённых в Арктическую зону России.

**Ключевые слова:** рекультивация, недропользование, Арктическая зона России

## Recultivation of Landscape in Some Arctic Regions of Russia, Which Were Disturbed As a Result of the Extraction of Raw Materials

S.A.Laukhin

*Moscow State Construction University, Moscow, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

D.S.Drozhdov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Territories, which were subjected to technogenic influence, had different interruptions steppe and it was needed the various recultivations for them: from nonintervention in natural-recovery processes to full engineer-biological recultivation. For recultivation in Arctic zone condition always was necessary individual approach. Peculiarities of recultivations especially distinguished in different geographical zones and sub-zones of Arctic (arctic tundra, forest-tundra, northern taiga etc.) or these parts, which were included in Arctic zone of Russian Federation.

**Key words:** recultivation, subsurface using, Arctic zone of Russia

### Введение

В 2014 г. авторы участвовали в реализации Проекта по изучению накопленного экологического эффекта Арктической зоны Российской Федерации (НЭУ АЗ РФ) от недропользования в связи с особенностями природных условий Арктики России. В качестве основной из учтённых особенностей была многолетняя мерзлота. Результатом этих работ посвящены три статьи, опубликованных в 2014 и 2015 гг [Брюховицкий и др. 2014, Дроздов Лаухин 2015, Чекрыгина и др. 2015] При обсуждении возможностей устранения НЭУ в этих публикациях неоднократно упоминалась рекультивация. Данная статья в серии работ по Проекту посвящена вопросам рекультивации НЭУ от недропользования, что вполне понятно для заключения упомянутой серии статей. Однако, экологический ущерб в ходе недропользования за последние 85 лет не всегда даже учитывался и теперь в общей сумме НЭУ выделить вклад недропользования не всегда просто [Брюховицкий и др. 2014]. Поэтому и о рекультивации земель, которым нанесен

НЭУ говорить сложно и данная статья обсуждает не рекультивацию в целом, а лишь отдельные её вопросы применительно к Российской Арктике.

### Вопросы рекультивации

Земли, подверженные техногенному воздействию, имеют разную степень нарушенности и рекультивация для них нужна различная – от невмешательства в естественные природно-восстановительные процессы до полной инженерно-биологической рекультивации. В карьерах первые и последние занимают по 25%. Для восстановления остальных 50% земель в карьерах необходим ограниченный набор мероприятий биологической рекультивации [Черевёв и др., 2008]. После нефтедобычи и других способов недропользования соотношение разного уровня рекультивации может быть и другим, но методы её могут быть, в основном, сходными. Мероприятия рекультивации делятся на 3 вида: самовосстановление, биологическая рекультивация и инженерно-биологическая рекультивация. В целом, рекультивация земель в зоне типичных и

арктических тундр разработана слабо; в подзоне северной тайги и в зоне лесотундры удачной рекультивации гораздо больше. Первичной рекультивацией везде служит локальная планировка – сглаживание и, по возможности, восстановление морфологии нарушенного ландшафта, т.е. создание достаточно ровного мезо- и микрорельефа, снижение интенсивности эрозионных процессов. Биологическая рекультивация состоит из двух этапов - интенсивного и экстенсивного: 1) создание стартовых условий для роста растений-рекультивантов; 2) поддержание условий становления вторичного зонального фитоценоза. Для рекультивации в условиях Арктической зоны всегда необходим индивидуальный подход, но есть и общие принципы:

- сохранение (восстановление) геокриологических условий;
- приближение условий к естественным условиям окружающей среды;
- необходимо учитывать не только местные условия, но и общие условия Крайнего Севера;
- использование местных злаков в качестве растений-рекультивантов;
- внесение удобрений минимально для создания только стартовых условий, но не для получения биомассы.

Биологическая рекультивация оголённой поверхности включает: оторфованье, задернение, альгофитомелиорацию, пропитку бентонитовым раствором, засев оптимальным составом растений-рекультивантов. Однако, заторфованный субстрат легко дренируется. Торф выдувается, выгорает, не закрепляет наклонные песчаные поверхности и не спасает их от ветровой и водной эрозии. Задернение (демутационное) основано на модели природного самовосстановления. В тундре самовосстановление растительного покрова идёт в три стадии: 1-я – произрастают растения с ускоренным (1-2 года) циклом развития; 2-я – развитие растений со средним (3-5 лет) циклом развития; 3-я стадия – растения с длительным жизненным циклом, в первые годы они развиваются под покровом 1-й и 2-й групп растений. Альгофитомелиорация интенсифицирует образование почвы. На голых песках водоросли являются пионерами зарастания. На участках с водорослями возможно самозарастание. Применение буровых растворов (бентонитов и нетаксичных полимеров) особенно актуальны для Крайнего Севера. Как уже сказано, лучший способ прекращения темоэрозии – создание дернины. Однако доставка плодородного слоя трудна и затратна. Актуально создание дернины на минеральном субстрате без нанесения плодородного слоя. [Месяц Мельников 2012] предложили заменить его нанесением полимерного покрытия после сева трав на фоне стартовых минеральных удобрений, что приводит к быстрому накоплению гумуса. За 2-3 года формируется биогенно-аккумулятивный слой. Черты биогенно-гумусово-аккумулятивного слоя образуются за 10 лет; во втором десятилетии диагностические черты этого слоя приобретают качественно-количественное оформление. По результатам опытно-промышленных испытаний на Бованенковском месторождении разработана технология создания почвенно-растительного покрытия нарушенных земель Ямала. Затраты носят одноразовый характер, т. к. восстановленные площади не требуют повторной обработки [Месяц Мельников 2012].

Большое значение, особенно в тундрах США [Капелькина 2013], придаётся подбору оптимального состава растений-рекультивантов. В России, на Ямале, подбором видов таких растений занимались, совместно с российскими, канадские специалисты, которые привезли 24 вида, произрастающих в канадской Арктике (большинство видов общие для России и Северной Америки). За три года выяснилось, что:

- песчаные грунты неблагоприятны для этих видов;
- виды, сохранившие силу роста на 3-й год, можно включать в смеси для рекультивации;
- несмотря на неспособность некоторых видов перезимовать на Ямале, эти виды можно использовать совместно с более выносливыми для стабилизации субстрата;
- чем больше тонких фракций в субстрате, особенно ила, тем больше поверхность покрывается растущими травами;
- рост трав подавляется солями, растворёнными в почве;
- внесение удобрений позволяет временно улучшить питание всходов;
- недостаточная утрамбованность почвы при посеве приводит к неудовлетворительному росту растений.

Значительное ускорение формирования почвы можно получить за счёт покрытий от эрозионных процессов: полиакриломида; латекс (вносится вместе с удобрениями, температура почв при этом повышается на 2...7°C); поливиниловый спирт (для грунтов криолитозоны [Чеверёв 1996], в корнеобитаемом слое температура повышается на 5...12°C). Известен широкий ряд лигниновых препаратов-отходов целлюлозно-бумажной промышленности. Препараты лигнина влияют на развитие и рост растений. Глинисто-полимерные составы (смесь полимеров с бентонитом, глауконитом или вермикулитом) обладают набухаемостью до 50 раз. Геоматы используют для защиты трав от эрозии на склонах [Чеверёв и др. 2008]. Однако, эти средства слабо помогают при развитии термокарстовых процессов.

Рекультивация эродированных и техногенно изменённых земель в области криолитозоны осложнена малой скоростью самовосстановления тундровых ландшафтов. Ввиду недостатка тепла экосистемы Севера уязвимы, сообщества бедны, малая мощность почвенного покрова, термодинамическая нестабильность кровли многолетней мерзлоты – всё в совокупности определяют повышенную уязвимость тундровых экосистем. При рекультивации нарушенных земель необходимо создавать благоприятные стартовые условия становления вторичного зонального фитоценоза.

Однако ещё за 10 лет до разработки перечисленных выше методов рекультивации в Магаданской области были достигнуты известные успехи в этом направлении [Замощ Попернов 1989]. Там самые обширные техногенные ландшафты были сформированы в долинах рек открытыми разработками россыпей. Техногенные образования на дне речных долин являются азональными в термовлажностном, литологическом и почвенном отношении. Изменяется гранулометрический состав пород – формируются сложные, мозаичные в плане и по разрезу гидродинамические системы. Трансформируется геокриологическая обстановка. Образуются техногенные талики. Возрастает роль

инфильтрации атмосферных осадков в термовлажностном режиме техногенных ландшафтов. За счёт конденсации грунтовые воды получают дополнительную влагу. При конденсации выделяется тепло. Аккумулятивные техногенные элементы долины, в отличие от естественных ландшафтов, получают в сутки суммарной солнечной радиации в 1,5-2 раза больше, а денудации – меньше. Улучшается температурный режим. Среднесуточные температуры на глубине 0,2 м дражного отвала на 3°C, а вскрышного – на 2°C выше показателей естественных ландшафтов. Термовлажностная азональность техногенных образований заключается в формировании водно-теплового режима, свойственного естественным участкам, расположенным на 200-300 м ниже по высоте в горах или на 4...6° южнее по широте. Такие условия верхних слоёв техногенных пород приводят к самозарастанию отвалов ксерофитами и аборигенными реликтами древесных пород [Замощ Попернов 1989]. В этих условиях наиболее эффективна фрагментарная рекультивация на участках благоприятных для создания корнеобразующего слоя. Именно фрагментарная рекультивация стала основным способом восстановления речных долин. Правда, главные успехи такой рекультивации были достигнуты в бассейне верхний Колымы. Но в 1983 г на фрагментарно рекультивированном отвале вскрышных работ дражного полигона в условиях Чаунского района Чукотки около 700 с.ш был получен урожай рапо-овсяно-гороховой смеси без орошения 160-180 центнеров с гектара.

В целом же, рекультивация техногенно нарушенных земель в Арктической зоне остаётся весьма затратной и экономически неэффективной. Поэтому ведущее положение в настоящее время на Севере занимает естественное зарастание нарушенных земель [Капелькина 2013]. В этом отношении представляет интерес изучение возможностей естественного зарастания и восстановления техногенно нарушенных земель в более благоприятных для этого частях Арктической зоны – в северной тайге Западной Сибири. Пожалуй, наиболее изученным в этом отношении является Надымский стационар в Западной Сибири на юге Арктической зоны России в её современных границах. Многолетняя мерзлота здесь островная, занимает около 50% территории, приурочена к торфяникам, торфяным болотам и буграм пучения [Москаленко, 2012]. Но сначала были выявлены фитоценозы и отдельные виды растений – индикаторов глубины сезонного промерзания в типичной тундре (Марре-Сале на Ямале, Парисенто на Гыданском п-ве), в южной тундре (устье Печоры) и в северной тайге (Надымский стационар). Показано, что на всех площадках минимальное сезонное протаивание наблюдается под морошково-богульниково-сфагново-кладониевым покровом. Чётким индикатором минимального протаивания на всех площадках является морошка [Москаленко 2003]. На буграх пучения, занимающих в северной тайге Западной Сибири большие площади, на Надымском стационаре растительный покров восстанавливается в зависимости от состава, увлажнения почв и вида техногенного воздействия. После пожара, который для тайги является естественным процессом (даже, если причина его антропогенная) растительность восстанавливается быстро – всего за 14 лет. На трассе же газопровода полного восстановления растительности за 33 года не произошло нигде. Поверхность бугров пучения за 32 года после укладки трубопровода просела на 8-80 см, а глубина сезонного протаивания

увеличилась в 2-3 раза [Москаленко Пономарёва 2004]. За 1970-2008 гг на Надымском полигоне среднегодовая температура повышалась на 0,04°C в год. Мощность сезонно-талого слоя увеличилась за 39 лет в торфяниках на 30% (с 50 до 65 см), а в буграх пучения – на 50% (с 110 до 200 см). В грунтах на глубине 10 м температура повысилась на крупнобугристых торфяниках на 1,3°C, а на мелкобугристых – на 0,8°C. Фрагмент пушицево-сфагнового болота, под которым кровля многолетней мерзлоты понизилась после техногенного нарушения до 2-3 м, сохранилось и за 39 лет после нарушения, т.е. за этот срок восстановления растительности не произошло [Москаленко 2009]. Следовательно, для самовосстановления техногенно нарушенных земель даже в самых благоприятных для этого условиях Арктической зоны России – в северной тайге – необходимо около половины столетия, т.е. рекультивация в большинстве случаев нужна и здесь, а не только в тундре.

### Специфика рекультивации в условиях изменения климата

В последние десятилетия XX века техногенез активизировался в связи с глобальным потеплением климата. В целом, на севере Западной Сибири в 1970-1995 гг. фиксировалась деградация криолитозоны оцениваемая повышением среднегодовой температуры многолетней мерзлоты в 0,5...1°C и более на глубине 10 м. Наибольшая скорость изменения термического состояния криолитозоны, как и климата, приходится на 80-е годы. В основном, эти тенденции были вызваны повышением зимней температуры воздуха, а в некоторых районах и увеличением снегоотложения [Павлов 2001]. Повышение температуры грунтов на севере Западной Сибири отмечается и в настоящее время [Дроздов Чекрыгина 1998, Павлов 2002 и др.], но с середины 90-х годов в ряде районов Севера (в т.ч. на Ямале) отмечен переход от потепления верхних горизонтов криолитозоны к их похолоданию. Так, на стационаре Марре-Сале (Западный Ямал) средняя температура грунтов изменилась с 1978-1979 гг от -2,2°C до -7°C, а глубина сезонного протаивания от 0,3 до 1,75 м. На Марре-Сале температура грунтов на глубине 10 м оценивается за 1978-1995 гг в 0,1...1°C. Наибольшее потепление мёрзлых грунтов характерно для тундровых урочищ, наименьшее для низких пойм и долин рек. В результате понижения среднегодовой температуры воздуха за 1996-2000 гг. температура многолетней мерзлоты на глубине 10 м снизилась на 0,6°C. Тренд увеличения глубин сезонного протаивания грунтов в Марре-Сале за 1978-1995 гг. составил в среднем по стационару 0,8 см/год, но из-за холодного лета 1999-2000 гг этот тренд за весь период наблюдений снизился до 0,6 см/год [Павлов 2001].

На Надымском стационаре за 1972-2000 гг. среднегодовые температуры грунтов повысились от -3 до +1°C, а повышение среднегодовой температуры воздуха в Надыме составило 0,04°C в год. Выявлены неодинаковые тенденции в интенсивности и направленности изменений температуры грунтов на стационаре. Заметное влияние на многолетние изменения сезонно-талого слоя оказывают состав пород и условия дренирования. На буграх пучения, сложенных с поверхности песком, и на болоте сезонно талый слой увеличивается с трендом 0,7 см/год за весь период наблюдения.

На Уренгойском нефтегазовом месторождении с 1974-1976 гг. функционируют три режимных участка: два на

сплошной и один на прерывистой мерзлоте. За 25 лет наблюдений температура грунтов на глубине 10 м менялась от  $-0,2$  до  $+2,7^{\circ}\text{C}$ . Из 26 скважин в 2-х не отмечено изменения температуры грунтов, в одной зафиксировано небольшое понижение, в остальных 23-х - повышение температуры. В 2001-2002 гг. в большинстве скважин наблюдается понижение температуры грунтов на  $0,1\dots 0,3^{\circ}\text{C}$ . Общее возрастание температуры грунтов на глубине 10 м за 1975-1999 гг. составило  $1,1^{\circ}\text{C}$  на сплошной и  $1,0^{\circ}\text{C}$  на прерывистой мерзлоте. Среднее повышение температуры грунтов на Уренгойском месторождении оценивается в  $1,2^{\circ}\text{C}$  за 1975-1997 гг и в  $1,0^{\circ}\text{C}$  за 1975-1999 гг.

Таким образом, глубина сезонного протаивания плохо реагирует на современное климатическое потепление. Температура мерзлых грунтов является более чётким индикатором современных изменений климата. В одном и том же регионе реакция низкотемпературных мерзлых грунтов на современные изменения климата более отчётливая, чем у высокотемпературных. Поэтому климатическое потепление способствует выравниванию неоднородностей в температуре верхних горизонтов криолитозоны.

### Заключение

Сказанное выше относится, главным образом, к рекультивации земель с техногенными нарушениями, связанными с нефтедобычей и открытой разработкой твёрдых полезных ископаемых (карьеры, дражные полигоны и т.п.). Большой пласт дополнительных проблем возникает при рекультивации земель после закрытия и ликвидации рудников и шахт. Масштабы (особенно ограниченное время проведения) наших исследований не позволили сделать даже самые схематичные обобщения по восстановлению земель, нарушенных шахтами и рудниками. А насколько сложны проблемы, связанные с этим спектром задач рекультивации, говорит хотя бы то, что «основным способом утилизации горнопромышленных отходов остаётся захоронение на полигонах» [Соколов 2013], что в условиях многолетней мерзлоты Арктической зоны очень неэффективно. Однако здесь мы не имеем возможности обсудить эту проблему.

Авторы надеются, что приведенные примеры достаточно определённо показывают: решение вопросов рекультивации земель, которым нанесен ущерб недропользованием, трудное, времёмкое, затратное, но, тем не менее, в условиях даже накопленного экологического ущерба, вопросы эти вполне разрешимы.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фундаментальных программ VIII.75.1 и VIII.77.2, интеграционных проектов СО РАН – ДВО РАН № 9 и СО РАН № 144, ОНЗ РАН № 12, госзаданий Минобрнауки № 9093 и № 1082, грантов Президента РФ НШ-5582.2012.5, РФФИ-РГО-13-05-41509 РГО, РФФИ 13-05-00811, 13-05-00854, 13-08-91001-АНФ-а, 14-05-00956, 15-55-71004\15, международных программ TSP, LCLUC, CALM, GTN-P, SWIPA, Адм-ции ЯНАО.

### Литература

Брюховецкий О.С., Дроздов Д.С., Лаухин С.А., Яшин В.П. 2014. О доле недропользования в накопленном

экологическом ущербе Арктической зоны Российской Федерации // Известия ВУЗов. Геология и разведка, 2014, № 6, с. 59-63

- Дроздов Д.С., Лаухин С.А. 2015. Влияние природных факторов на НЭУ от недропользования в основных импактных районах криолитозоны Российской Арктики (на примере Тимано-Печорского, Воркутинского, Западно-Сибирского, Норильского районов и Северо-Востока России // Криосфера Земли, 2015 (в печати)
- Дроздов Д.С., Чекрыгина С.Н. 1998. Изменение инженерно-геокриологических условий территории Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения под влиянием техногенеза. // Геоэкологическое картографирование: Часть III. – М.: Геоинформмарк, 1998, с.92-94.
- Замощ М.Н., Папернов И.М. 1989. Рекультивация техногенных ландшафтов // Восточная Сибирь и Дальний Восток. Геокриология СССР. – М.: Недра, с.483-490
- Капелькина Л.П. 2011. Нарушенные земли Севера и проблемы их рекультивации // Арктика: экология и экономика. № 3, с. 60-67
- Месяц С.П., Мельников Н.Н. 2012. Решение проблемы термоэрозии при разработке газоконденсатных месторождений Ямала // Тр. X Междунар. конф. по мерзлотоведению. Том 3, с. 337-342
- Москаленко Н.Г. 2003. Взаимосвязь мерзлоты и растительности в разных природных зонах западной части Арктики России // Криосфера Земли. 2003, том VII, №4, с 14-20
- Москаленко Н.Г. 2009. Изменение температуры пород и растительности под влиянием меняющегося климата и техногенеза в Надымском районе Западной Сибири// Криосфера Земли. Том XIII, №4, с.18-23
- Москаленко Н.Г. 2011. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли. Том XVI, № 2, с. 38-42
- Москаленко Н.Г. 2012. Влияние деградации многолетнемерзлых пород на северо-таёжные экосистемы Западной Сибири // Тр. X Междунар. конф. по мерзлотоведению. Том 3, с. 353-358
- Москаленко Н.Г., Пономарёва О.Е. 2004. Изменения растительности и геокриологических условий бугров лущения, нарушенных линейным строительством в северной тайге Западной Сибири // Криосфера Земли. Том VIII, №2, 10-16
- Павлов А.В. 2001. Реакция криолитозоны на современные и ожидаемые в XXI веке климатические изменения // Разведка и охрана недр. №5, с. 8-14
- Павлов А.В. 2002. Вековые аномалии температуры воздуха на севере России// Криосфера Земли. Том VI, №2, с. 75-81
- Соколов Ю.И. 2013. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба// Арктика: экология и экономика. №2(12), с. 18-27
- Черверёв В.Г. 1996. Технологическая мелиорация грунтов криолитозоны водным раствором полимера // Мат-лы первой конф. геокриологов России. Кн. 3. – М.: МГУ, с. 178-188
- Черверёв В.Г., Медко В.В., Видяпин И.Ю., Елисеев А.В. 2008. Рекультивация нарушенных земель и защита земляных сооружений от эрозионных процессов // Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне. – М.:МГУ, с. 642-656
- Чекрыгина С.Н., Дроздов Д.С., Лаухин С.А. 2015. Цифровая карта природных и техногенных геосистем Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения // в печати в данном сборнике

## Геотехнический мониторинг и инженерная защита от опасных геологических процессов берегового участка перехода газопровода через Байдарацкую губу

Н.В.Лашина

ООО «Стройгазизыскания»

В.В.Лашин

ООО «Газпром трансгаз Ухта» Воркутинское ЛПУМГ

А.В.Савельев

ООО «Центр геодинамических исследований»

### Реферат

В тезисах рассмотрены основные опасные геологические процессы, развивающиеся на береговом участке Байдарацкой губы при строительстве и эксплуатации газопровода, основные мероприятия инженерной защиты для снижения влияния этих негативных процессов. Также рассматривается разработка системы геотехнического мониторинга, как метода регулирования развития экзогенных процессов и явлений.

**Ключевые слова:** газопровод, геотехнический мониторинг, инженерная защита, подводный переход, экзогенные процессы.

### Geotechnical Monitoring and Engineering Protection from Dangerous Processes of Onshore Gas Pipeline Crossing the Baydara Bay

N.V.Lashina

«Stroygazizyskaniya» Ltd.

V.V.Lashin

Vorkuta linear production management of gas main

A.V.Savelyev

Geodynamic research center Ltd.

### Abstract

Dangerous geological processes, developing on the coastal area Baydara Bay during the construction and exploitation of the pipeline, the main activities of engineering protection to reduce the impact of these negative processes, as well as the development of geotechnical monitoring as a method of regulating the activation of exogenous processes and phenomena were considered in the thesis.

**Key Words:** gas pipeline, geotechnical monitoring, engineering protection, underwater passage, exogenous processes.

### Введение

Газопроводы являются основой инфраструктуры месторождений газа, без которой невозможно решение экономических и производственно-технических проблем, связанных с освоением месторождений. Высокий объем газотранспортного строительства в районах распространения многолетнемерзлых пород увеличивает уровень техногенного воздействия на природную среду. Дальнейшее освоение этих районов невозможно без проведения специальных исследований по паспортизации сооружений и конструкций, оценке их ресурса и степени опасности эксплуатации для природы и общества чреватой возникновением аварийных ситуаций.

Одним из таких широко осваиваемых районов является побережье Байдарацкой губы. Анализ условий эксплуатации показал, что далеко не всегда строительство трубопроводов осуществлялось с учетом реальных природных закономерностей криолитозоны. В ряде случаев, в связи с недостатком информации о

природных условиях местности, требуемой для обоснования проектных решений, допускались ошибки в размещении сооружений и в выборе конструкций, в результате чего возникали и продолжают возникать аварийные ситуации, ликвидация которых сопряжена со значительными затратами.

### Природные условия

Байдарацкая губа, один из наиболее крупных заливов Карского моря, располагается в юго-западном секторе моря между полуостровами Югорский и Ямал и представляет собой обширный, глубоко вдающийся в сушу мелководный залив, вытянутый с северо-запада на юго-восток.

Байдарацкая губа расположена между Югорским полуостровом и полуостровом Ямал. Трасса перехода через Байдарацкую губу пролегает в ее центральной части между компрессорными станциями на побережье Ямала и на побережье Полярного Урала.





В соответствии с климатическим районированием Арктики Байдарацкая губа находится в восточном районе Атлантического сектора Северного Ледовитого океана. Этот район подвержен существенному влиянию атмосферных процессов умеренных широт.

Среднегодовая температура воздуха в регионе отрицательна:  $-7...-10^{\circ}\text{C}$ , при этом средние месячные значения температуры воздуха отрицательны в течение восьми месяцев – с октября по май включительно. Весной средняя суточная температура воздуха становится положительной, как правило, в первой половине июня, осенью – отрицательной – в конце сентября – начале октября.

Большую часть года – с октября по июнь – побережье юго-западной части Карского моря покрыто снегом, а сама акватория покрыта льдом, но, тем не менее, зимняя температура воздуха превосходит температуру воздуха в более южных материковых районах. Зимний минимум температуры приходится на три месяца – с января по

март. В это время месячная температура воздуха составляет  $-20...-25^{\circ}\text{C}$ .

Летний максимум температуры воздуха приходится на июль-август – средняя месячная температура около  $6...7^{\circ}\text{C}$ . В это время сравнительно холодные воды Карского моря не дают воздуху прогреться до более высокой температуры.

Сумма осадков, выпадающих в регионе невелика и составляет 260-330мм. Это связано с небольшим влагосодержанием как холодного арктического воздуха, так и континентального воздуха, приходящего из Сибири. Выпадение осадков связано, главным образом, с прохождением циклонов. Количество осадков имеет хорошо выраженный годовой ход. Минимум наблюдается зимой.

Годовой ход средних и экстремальных значений температуры воздуха и среднеемесячное количество осадков на ГМС Марре-Сале приведен в таблице 1.

Таблица 1. Среднемесячные, среднегодовые и экстремальные величины температур воздуха и среднеемесячное количество осадков по данным ГМС Марре-Сале.

Температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя	-20,7	-21,4	-20,3	-13,0	-5,5	1,2	6,6	6,7	3,2	-4,0	-13,1	-18,4	-8,3
Минимум	-50,0	-52,0	-48,0	-36,0	-29,0	-15,0	-5,0	-4,0	-18,0	-30,0	-39,0	-49,0	-52
Максимум	1,0	0,0	2,0	5,0	13,0	24,0	28,0	26,0	19,0	11,0	3,0	1,0	28
Количество осадков, мм	21	16	17	16	21	28	34	38	40	34	22	20	$\Sigma=307$

Установление и разрушение снежного покрова на льду губы имеет свои особенности. Снежный покров в губе образуется несколько позже, чем на суше – только после установления припая и закрытия поверхности губы льдом. Высота снежного покрова на ровном льду меньше, чем на суше – его сдувает ветром. Торосы играют роль барьера и около них образуются надувы до 1-2 м.

Побережье Байдарацкой губы на участках перехода представляет собой террасированную прибрежно-морскую аккумулятивно-абразионную равнину, сложенную верхнеплейстоценовыми и голоценовыми отложениями морского, прибрежно-морского, аллювиально-морского и озерно-болотного генезиса.

Эти отложения для данных участков являются рельефообразующими. Здесь можно выделить следующие геоморфологические поверхности:

- I морская терраса;
- Современная терраса – лайда (высокая и низкая), береговой бар и пляж.

Трасса газопровода проходит в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Многолетнемерзлые породы (ММП) на береговых участках перехода имеют сплошное распространение и отсутствуют только под акваторией моря и на небольших участках под непромерзающими озерами и руслами рек. В целом мощность мерзлой толщи превышает 50м со среднегодовыми температурами грунтов от  $-2$  до  $-7^{\circ}\text{C}$  [Природные условия... 1997].

На формирование температурного режима грунтов кроме регионального климатического режима влияют следующие температурообразующие факторы:

- гипсометрические уровни и формы рельефа;
- литологический состав, засоленность и увлажненность грунтов;
- характер и степень распространения растительного покрова;
- мощность снегового покрова;
- степень обводненности на поверхности грунтов.

Инженерно-геологические процессы на территории исследований имеют, как правило, криогенный генезис и развиты довольно широко. При этом в естественных условиях степень пораженности территории криогенными процессами и их генетическое разнообразие относительно невелики. Однако, при техногенном преобразовании территории возможна резкая активизация многих экзогенных процессов.

Непосредственно на территории берегового перехода распространены процессы морозного пучения грунтов, морозного растрескивания пород и развитие полигонально-жильных льдов, термокарста. В отдельных местах отмечаются слабовыраженные формы термоэрозии и солифлюкции. На прилегающей территории морского побережья к перечисленным процессам добавляются: волноприбойная термоабразия, активное формирование и развитие форм овражной термоэрозии.

## Технические условия и система инженерной защиты

Согласно классификации СТО Газпром 2-3.7-050-2006 "Морской стандарт DNV-OS-F101. Подводные трубопроводные системы" подводный переход газопровода через Байдарацкую губу с давлением газа в трубе 11,8 МПа, по классу безопасности относится к высокой категории. Единственный с таким давлением

Протяженность подводного перехода магистрального газопровода «Бованенково – Ухта» около 67 км, большая часть которого (63 км) является глубоководной. Отметки морского дна в глубоководной части в среднем составляют от 10 до 20 м [Отчёт...]. Укладка трубы в глубоководной части осуществлялась с трубоукладочной баржи в соответствии с разработанными и принятыми технологиями. Труба укладывалась на дно траншеи, глубиной от 3,0 до 4,0 метров, шириной по дну около 8,0-10,0 м

Температура газа в трубе изменяется от +12,0°C (в летние периоды) в начале участка, до +1,0...0,0°C на выходе из Байдарацкой губы. Поддержание положительных температур газа в трубе, позволяет не допускать намораживание льда на газопровод, что могло бы привести к его деформированию и всплытию трубы.

Для утяжеления трубы применялась балластировка в виде сплошного обетонирования толщиной 85 мм (плотность бетона 3050 кг/м<sup>3</sup>). Кроме того, через каждые 40 – 70 м укладывались по 4 утяжеляющих бетонных мата весом 1253 кг каждый.

Засыпка траншеи осуществлялась донными отложениями, которые были извлечены при сооружении траншеи, с помощью земснаряда. Через 200 - 500 метров устраивались грунтовые перемычки из песчано-гравийной смеси.

Главным критерием заглубления трубопровода при пересечении береговых участков является линия прогнозируемой деформации профиля береговой зоны в створе перехода трубопровода за 35-летний период. Поэтому проектное положение верха трубопровода принимается на 1 метр ниже линии прогнозируемой деформации берега, но не менее 1,5 м ниже рельефа морского дна.

Траншея разрабатывается с применением коффердама. Коффердам позволяет предохранять траншею от размыва волной. Ширина траншеи по дну на всем протяжении коффердама составляет 6 метров с вертикальными стенками.

На береговых участках, где присутствуют ММП, дно и откосы траншеи укладываются теплоизоляционными плитами.

Противоэрозионные мероприятия на береговых участках подводного перехода предназначены для защиты газопровода от возможных негативных последствий в результате антропогенного воздействия, как в период строительства, так и в период эксплуатации.

Предусмотрено выполнение следующих противоэрозионных мероприятий:

- защита склонов вдоль газопровода от термоэрозии, возникающей при нарушении поверхностного покрова и растеплении вечномерзлых грунтов;
- защита газопровода от размывов в местах пересечения с протоками.

Защита склонов от термоэрозии производится укладкой по склону георешеток, изготовленных по ТУ 2246-01-56580894-2002, в следующей последовательности:

- планировка поверхности откоса;
- укладка двух слоев геотекстильного полотна
- укладка и растяжка георешетки с ориентацией секции наибольшей стороной вдоль основного склона;
- крепление георешетки и подстилающего полотна к грунту основания арматурными анкерами и тросами;
- скрепление секций между собой металлическими скрепками;
- отсыпка щебня в георешетку, уплотнение и досыпка до полного заполнения.

Защита газопровода от размывов в створе пересечения проток производится укладкой бетонных матов поверх засыпки траншеи.

Предусматривается следующая конструкция защиты: подстилающий слой из двух слоев геотекстильного полотна Дорнит, перекрыт защитными бетонными матами УЗБМ-105, крепление матов к грунту основания производится анкерами [Проект... 2007].

## Геотехнический мониторинг

С учетом природных и конструктивных особенностей объекта, в качестве критериев изменения состояния геотехнических систем газопровода можно выделить:

- Критерии изменения природных условий территории строительства (допустимые, предельные изменения природных параметров, определяющих эксплуатационную надежность грунтов основания и конструкции);
- Критерии надежности самих газопроводов (допустимые, предельные и сверхнормативные деформации).

Изменения отдельных критериев взаимосвязаны (за исключением возникновения аварийных ситуаций по причинам заводского брака трубопроводов и брака сварных соединений). Изменение природных условий территории строительства приводят к изменениям надежности и снижению устойчивости грунтов, что в свою очередь влечет за собой развитие деформаций трубопроводов.

Негативными факторами, которые во многих случаях приводят к изменениям инженерно-геокриологических условий грунтов оснований, влияющих на состояние газопровода, являются:

- «недостаточные» проектные решения (отсутствие учета влияния криолитозоны на основание магистрального газопровода);
- некачественное строительство (незавершенность вертикальной планировки и инженерной защиты);
- несвоевременное создания и оборудования сети геотехнического мониторинга.

Эти факторы могут спровоцировать подтопление территории, развитие склоновых, термокарстовых и прочих негативно влияющих на основание магистрального газопровода инженерно-геокриологических процессов, что может привести к всплыванию газопровода, общей потере устойчивости оснований объектов и газотранспортной системы в целом.

### Выводы

Для предупреждения развития вышесказанных процессов необходимо оборудование сети геотехнического мониторинга (ГТМ) еще на стадии инженерных изысканий.

. Опорная сеть ГТМ должна состоять из:

- геодезической сети (глубинные репера, грунтовые и фундаментные деформационные марки);
- стационарной наблюдательной геокриологической сети (термометрические скважины, пучиномеры, пункты замера снега и СТС)
- свойств грунтов, поверхностных условий теплообмена.
- гидрогеологической и гидрологической сетей (пьезоскважины, гидростворы, отбор проб воды на анализ);

- режимных натуральных наблюдений для детального изучения физико-механических и тепло-физических. Значительные деформации и несвоевременное принятие управляющих решений по устранению причин их возникновения могут привести газотранспортную систему в непроектное – предаварийное – аварийное состояние.

### Литература

Отчет ООО «Питер Газ» «Система магистральных газопроводов Бованенково – Ухта. Линейная часть, первая нитка.

Природные условия Байдарацкой губы. Основные результаты исследований для строительства подводного перехода системы магистральных газопроводов Ямал – Центр. М. Геос, 1997. 432с.

Проект. Система магистральных газопроводов Бованенково – Ухта. Основные решения по линейной части газопровода. Способы прокладки и основные конструкторские решения по линейной части. ОАО «ЮЖНИИГИПРОГАЗ», 2007.



## Оценка почвенного покрова северотаежной подзоны Западной Сибири (на примере газопровода Надым-Пунга)

Е.Ф.Лешневская  
Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень  
Д.А.Левадная  
Тюменский государственный университет, Тюмень  
А.С.Якимов  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

В настоящей работе на основе фактического материала изучено морфологическое строение антропогенно нарушенных и фоновых почв в районе газопровода Надым-Пунга. Использовано почвенно-геоморфологическое профилирование (катены), с погоризонтным описанием почвенных профилей.

**Ключевые слова:** Криогенные почвы, морфологические признаки, антропогенные нарушения.

### Characteristics of Soil Cover in West-Siberian Northern Taiga (along Pipeline Nadym-Punga)

E.F.Leshnevskaya  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia  
D.A.Levadnaya  
Tyumen State University, Tyumen, Russia  
A.S.Yakimov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

Morphological structure of disturbed and background soils near Pipeline Nadym-Punga are investigated. Soil-geomorphic profiling (catenas) and description horizons of soils were used.

**Key Words:** Cryogenic soils, morphological attributes, anthropogenic disturbances

### Введение

Проблема восстановления и сохранения криогенных ландшафтов, которые под воздействием техногенных факторов разрушаются, приобретает все большую актуальность в связи с активизацией промышленного освоения Севера Западной Сибири. Для восстановления нарушенных земель определенную значимость приобретает оценка их техногенных нарушений в условиях криолитозоны.

### Объекты и методы исследований

Надымский стационарный участок расположен в 30 км южнее г. Надыма, Ямало-ненецкого автономного округа, Тюменской области [Антропогенные изменения... 2006] в подзоне островного распространения многолетнемерзлых пород [Ландшафты...1983]. Участки многолетнемерзлых пород, занимающие до 50% площади, приурочены к торфяникам, торфяным болотам и буграм пучения III озерно-аллювиальной равнины. Равнина сложена песчаными отложениями с прослоями суглинков, местами перекрытыми с поверхности торфом.

В связи с активной деятельностью по транспортировке газа на данной территории и изменениям ландшафтов,

было начато изучение почвенного покрова в районе магистрального газопровода Надым – Пунга. Первый этап нашего исследования заключался в том, что были заложены две катены, одна из которых проходит через плоско-бугристые торфяники (катена 1), а другая через лесной массив (катена 2).

Для изучения влияния нарушений при строительстве и эксплуатации газопровода на почвы выполнено изучение морфологического строения шести почвенных разрезов.

#### Катена №1, разрез №1(нарушенный).

Место расположения разреза в 7 м от насыпи газопровода.

**Рельеф:** Плоский. Состояние подболачивание.

**Ландшафт:** Пушицево-осоковое болото, с зеленым мхом, (мезотрофное) переходного типа.

**Растительность:** Береза (высота 2-2,5м.), сосна (высота 10-15см.), пушица, багульник, политрихум, сфагнум узколистый, ерник (карликовая береза), кустарники.

Т0 0-4см. Горизонт сложен живыми растениями и плохо разложившимися растительными остатками. Горизонт влажный.



T1 4-6 см. Цвет очень темно-красный. Влажный, граница слабоволнистая переход плавный заметный по цвету и ясный по гранулометрическому составу.

C 6-16 см. Цвет темно-сероватый коричневатый. Влажный. Структура комковатая, супесчаная, новообразования нет, включение мелкие диаметр до 2 мм (кварц), имеются остатки растительности, нижняя граница ровная переход заметен по цвету, ясен по торфу.

В нижней правой части разреза на глубине 14-16 см. фиксируется линза оглеенного материала, имеет зеленовато-серый цвет. Средний суглинок, глыбистая структура, уплотненный, пластичный, сырой (сочится вода), граница нижняя слабо - волнистая, переход ясный по цвету и структуре.

[T2] 16-30 см. Цвет коричневатый. Уплотненный, сырой, вода сочиться с глубины 14 см. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету.

[T3] 30-40 см. Цвет темно-красновато-коричневый. Уплотненный, очень мокрый. Нижняя граница ровная переход ясный по цвету и структуре.

CG<sub>г</sub> 40-50 см. Зеленовато-серая супесь плитчатой структуры. Уплотненный, пластичный, мокрый.

Современная почва: болотная верховая торфяная переходная на антропогенном выкиде, погребённая почва – болотная верховая торфяная [Классификация..., 1977].

#### **Катена №1, разрез №2(нарушенный).**

Место расположения разреза от предыдущей точки 22 м от газопровода 29 м.

**Рельеф:** Плоский. Состояние подболачивание.

**Ландшафт:** Переходная зона между мезотрофным болотом и плоскобугристым торфяником.

**Растительность:** Пушица, багульник, зеленые мхи, молодые побеги сосны и березы.

To 0-2 см. Горизонт состоит из живых растений и плохо разложившейся органики. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и степени разложения торфа.

T1 2-30 см. Цвет светло-коричневый Уплотненный, сырой. Нижняя граница языковатая, переход ясный по цвету и степени разложения торфа.

T2 30-35 см. Цвет темно-красновато - коричневатый. Уплотненный, сырой, вода с 30 см. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и гранулометрическому составу.

CG<sub>г</sub> 35-50 см. Зеленовато-серый песок глыбистой структуры, оглеенный, мокрый, рыхлый.

Почва болотная верховая торфяная нарушенная.

#### **Катена №1, разрез №3(ненарушенная).**

Место расположения разреза от предыдущей точки 33 м., от газопровода 62 м.

**Рельеф:** Хорошо выражен микрорельеф.

**Ландшафт:** Плоскобугристый торфяник.

**Растительность:** Багульник, карликовая березка, брусника (полукустарнички). На кочках лишайник, в ложбинках лишайники, цетрария, кладония оленья.

To 0-8 см. Цвет розовато-серый. Состоит из плохо разложившихся растений, читается их структура вплоть до видовой. Уплотненный, сырой. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету.

T1 8-29 см. Цвет красновато-желтый. Уплотненный, влажный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету.

T2 29-30<sup>L</sup> см. Цвет черный. Уплотненный, влажный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету.

Почва болотная верховая торфяная на многолетних мерзлых породах.

**Катена №2, разрез №1(нарушенная).** (При реконструкции газопровода 2003г. на поверхность воздействовала тяжелая техника, в связи с этим нарушен ландшафт).

**Растительность:** Молодой березняк, сосна, багульник, черника, ягель (лишайник), голубика, осока, брусника, вороника, кассандра, можжевельник.

O<sub>ч</sub> 0-5 см. Цвет сильно-коричневый. Верхний слой состоит из остатков плохо разложившейся органики, включения веток, листьев и травы. Уплотненный, сухой. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

A<sub>тех</sub> 5-10 см. Цвет светло-коричневый. Образован в результате сооружения газопровода, насыпан на почву. Структура комковатая, супесь рыхлая увлажненная. Включение корни трав, деревьев. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[O<sub>ч</sub>] 10-12 см. Цвет темно-коричневый. Уплотненный, увлажненный. Включения плохо разложившихся остатков растений в нижней части (10-12 см), углистый прослой. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

[A2] 12-16 см. Цвет светло-серый. Структура комковатая, песок рыхлый, увлажненный. Включения корней растений. Нижняя граница слабо-волнистая, переход заметный по цвету и структуре.

[B<sub>гс</sub>] 16-29 см. Цвет светло-коричневый. Структура плитчатая, легкий суглинок. На глубине 16-18 см горизонт имеет коричневатый цвет. Включения корней древесной и травяной растительности. Уплотненный, увлажненный. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету, гранулометрическому составу и плотности.

[C<sub>г</sub>] 29-85 см. Неравномерный по цвету: от бледно-желтого до оливково-желтого. Комковатой структуры, средний суглинок. Увлажненный, плотный, пластичный. Включения корней древесной растительности.

На глубине 35-40 см. на горизонте [C<sub>г</sub>] найден фрагмент 5-6 см. болотной руды.

Современная почва подзолистая антропогенно нарушенная, погребённая почва – глееподзолистая.

#### **Катена №2, разрез №2(нарушенная).**

Место расположения разреза от предыдущей точки 11 м., от газопровода 17 м. Этот разрез первого нарушения при строительстве газопровода Надым-Пунга в 1970.

**Ландшафт:** Подболоченный лес.

**Растительность:** Подростки березы, сосны, сосново-березовый лес с верховым болотом, зеленый мох (сфагнум), багульник, брусника, голубика, лишайник, кладония. Много остатков сухой древесины произошло от строительства первого газопровода.

T0 0-8 см. Цвет красновато серый. Увлажненный, уплотненный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и степени разложения торфа.

T1 8-18 см. Неоднородный по цвету, доминируют оттенки красного. Увлажненный, уплотненный. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

A2 18-20 см. Цвет серовато коричневый. Неясно комковатая супесь, уплотненная, увлажненная. Включения корней деревьев. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

V<sub>Fe</sub> 20-28 см. Цвет желтовато-коричневый. Комковатая структура. Уплотненный, увлажненный. Включения корней деревьев и трав. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

C<sub>g</sub> 28-55 см. Цвет желтовато-коричневый. Структура комковато-плитчатая. Легкий суглинок, уплотненный, увлажненный. Включения корней деревьев и трав. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету.

D 55-80 см. Цвет не однородный от бледно-желтого до желтого. Бесструктурный средне- и крупнозернистый песок. Включения минералов кварца. В нижней части горизонта встречается новообразования Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в виде не больших фрагментов.

Почва глееподзолистая на аллювиальном песке.

#### **Катена №2, разрез №3(ненарушенная).**

Место расположения разреза от предыдущей точки 34 м., от газопровода 51 м.

**Растительность:** Багульник, лодонья (оленья), черника, ягель (лишайник), голубика, брусника, вороника. В подросте сосна, молодой кедр и березняк, сосново-березовый лес.

Оч 0-5 см. Нижняя граница слабо-волнистая, переход заметен по степени разлаженности органики.

T1 5-17 см. Не однородный по цвету от коричневого до темно-коричневого. Увлажненный, уплотненный. Нижняя граница ровная, переход ясный по цвету и структуре.

A2 17-25 см. Цвет светло-коричневый. Неясно комковатая структура, супесь. Уплотненный, увлажненный. Включения корней деревьев. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

VFe 25-35 см. Цвет светло-коричневый. Лёгкий суглинок комковатой структуры, уплотненный, увлажненный. Включения корней деревьев. Нижняя граница ровная, переход заметный по цвету и структуре.

Cg 35-50 см. Цвет не однородный от коричневого до желтого. Комковатая структура, лёгкий суглинок. Уплотненный, увлажненный. Включения корней деревьев. Встречаются отдельные мелкие зерна

минералов. Нижняя граница слабо-волнистая, переход заметный по цвету.

D 55-80 см. Цвет не однородный от бледно-желтого до желтого. Бесструктурный песок. В верхней части горизонта встречается ожелезненные фрагменты на глубине 50-60см.

Почва глееподзолистая.

### **Выводы**

Морфологическое строение является одним из важных параметров, которое используют для установления степени нарушения почвенного покрова. Несомненно, что при механическом нарушении последствия могут быть разными и приводить к различным последствиям.

Сравнительный анализ выявил, что большинство антропогенных нарушений находят отражение в изменении морфологического строения почвенных профилей. Одним из них является упрощение строения профиля, что связано с антропогенной деградацией верхней части почв. Оно прослеживается в сокращении числа генетических горизонтов и переход нижней части профиля почв в погребённое состояние. В тоже время в профиле нарушенных почв наблюдаются линзы и прослойки минерального материала в органогенных (торфяных) горизонтах, мощностью от 1 до 10 см.

Наиболее серьезные изменения зафиксированы в лесных почвах с маломощными органогенными горизонтами. Очень часто при нарушениях этих почв происходит полная или частичная деградация органогенных горизонтов и в целом верхней части почв, включая часть подзолистого горизонта. Это хорошо видно на примере сравнения почв в пределах катены №2. Отмечается практически полное исчезновение подзолистого горизонта (с 12 см на ненарушенном участке, до 2 см после нарушения), так и упрощение морфологического строения (отсутствует современный торфянистый горизонт). На нарушенном участке также зафиксирован погребенный торфянистый горизонт, перекрытый прослоем песчанистого материала антропогенного происхождения.

### **Литература**

- Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Под редакцией Н.Г. Москаленко. Коллектив авторов. – М.: Институт криосферы Земли, 2006. - 358 с.
- Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
- Комплексный мониторинг северо-таежных геосистем Западной Сибири / Под ред. В.П. Мельникова. – Новосибирск: Академическое издательство «ГЕО», 2013. - 207 с.
- Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др. – Новосибирск: Наука, 1983. - 163 с.
- Хренов В.Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства и геохимия. – Новосибирск: Наука, 2011. - 211с.

## Динамика эолового рельефа в северной тайге Западной Сибири (на примере Надымского стационара)

С.А.Лоботросова, О.С.Сизов  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Эоловый рельеф широко распространен на севере Западной Сибири. В настоящее время значительное воздействие на развитие дефляции оказывает хозяйственная деятельность. Для оценки возможных последствий антропогенного нарушения почвенно-растительного покрова необходимы достоверные данные о динамике эолового рельефа в естественных условиях. В данной работе приводятся результаты изучения песчаной котловины выдувания, расположенной на левом берегу р.Надым к востоку от Надымского стационара ИКЗ СО РАН. Исследование основано на многолетних наблюдениях за растительностью в пределах котловины, а также на анализе разновременных космических снимков и полевых измерениях отдельных элементов микрорельефа.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, климат, криогенные процессы, растительность, эоловые процессы.

## The Dynamics of Aeolian Relief in the Northern Taiga of Western Siberia (Nadymsky Scientific Field Station Case Study)

S.A.Lobotrosova, O.S.Sizov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

Eolian relief is widespread in the north of Western Siberia. Currently, a significant impact on the development of deflation has economic activity. To assess the possible effects of human disturbance to soil and vegetation need reliable data on the dynamics of aeolian relief in vivo. In this paper was presented the results of a study of sand dune located on the left bank of the river Nadym to the east of Nadymsky Scientific Field Station SB RAS. The study is based on long-term observations of vegetation within the dune, as well as on the analysis of multi-temporal satellite images and field measurements of individual forms of the microrelief.

**Key Words:** Western Siberia, aeolian processes, vegetation, climate, freeze-thaw action.

### Введение

В течение последних десятилетий продолжается усиленное освоение и использование природных комплексов севера Западной Сибири. С большими запасами ресурсов нефтегазового комплекса Западно-Сибирской равнины такое освоение продолжится и в будущем. При таком использовании природных комплексов в первую очередь страдает растительный покров. Но также на природные комплексы помимо техногенного воздействия оказывает влияние и изменение климата. Устойчивость природных комплексов севера, по сравнению с югом Западной Сибири, к этим изменениям довольно слабая.

Вопросами развития и особенностями эоловых процессов в разные годы в различных регионах занимались многие исследователи [Полынов 1926; Арнагельдыев 1990; Чичагов 2004; Величко Тимирёва 2005; Говорушко 2007; Соромотин Сизов 2007 и др.]. Изучались также изменения и восстановление растительности в условиях меняющегося климата и техногенных нарушений на севере в зоне тундр и на юго-востоке Западной Сибири [Шилова 1977; Полежаев, 1984; Телятников 1993; Телятников Пристяжнюк 2012; Москаленко 2012]. Процессы естественного

восстановления растительности на эоловых формах рельефа в островной криолитозоне Западной Сибири пока остаются слабо изученными.

### Объекты и методы исследования

Эоловый рельеф довольно широко распространен в среднем и нижнем течении р.Надым. Морфологически он выражен преимущественно в виде ориентированных по направлению господствующих ветров котловин выдувания, на поверхности и по периферии которых нередко формируются аккумулятивные формы (валы, бугры, дюнные цепи, барханы и др.). Отдельные участки развееваемых песков, представляющие собой цепи сомкнутых в результате ветровой эрозии котловин выдувания, могут достигать площади порядка 40 км<sup>2</sup> [Сизов 2007]. Многообразие эоловых форм в районе Надымского стационара ИКЗ СО РАН, расположенного в 30 км. к юго-востоку от г.Надым, делает возможным проведение многолетних комплексных работ по изучению современных особенностей эоловых процессов в регионе.

Исследовательские работы начались с 1972, когда было установлено, что в результате удаления растительного покрова в полосе трассы магистрального газопровода Надым-Пунга, на вершинах минеральных бугров пучения

образовались песчаные раздувы. На них были заложены постоянные стометровые площадки, где проводятся ежегодные описания растительности, измерялась мощность сезонно-талого слоя и температура пород в 10-метровых скважинах [Антропогенные изменения... 2006].

Начиная с 2009 года полевым отрядом ИКЗ СО РАН также проводятся комплексные исследования в пределах крупной котловины, расположенной вблизи устья р.Хейгияха. За это время с участием авторов были выполнены описания четвертичных отложений, климатических условий, почвенных разрезов и растительного покрова.

Полевые исследования 2013-2014 гг. были направлены на выявление скорости зарастания эоловых форм рельефа, для этого в пределах типичных ландшафтов были разбиты 3 геоботанические площадки и заложены 2 геоботанических профиля. На профилях и площадках проводились описания и регистрировались изменения различных компонентов геосистем: растительности (определение обилия, встречаемости, покрытия, высоты видов растений на 100 учетных площадках размером 0,1м<sup>2</sup>, зарисовка структуры по сетке 1\*1м<sup>2</sup>), определение мощности и влажности сезонно-талого слоя, измерение температуры почв на поверхности и на глубине 1,5м. В августе 2013 г. для уточнения морфометрических показателей микрорельефа была проведена детальная геодезическая съемка типичных участков котловины, а также установлены реперы для оценки динамики переноса песчаного материала (рис. 1).

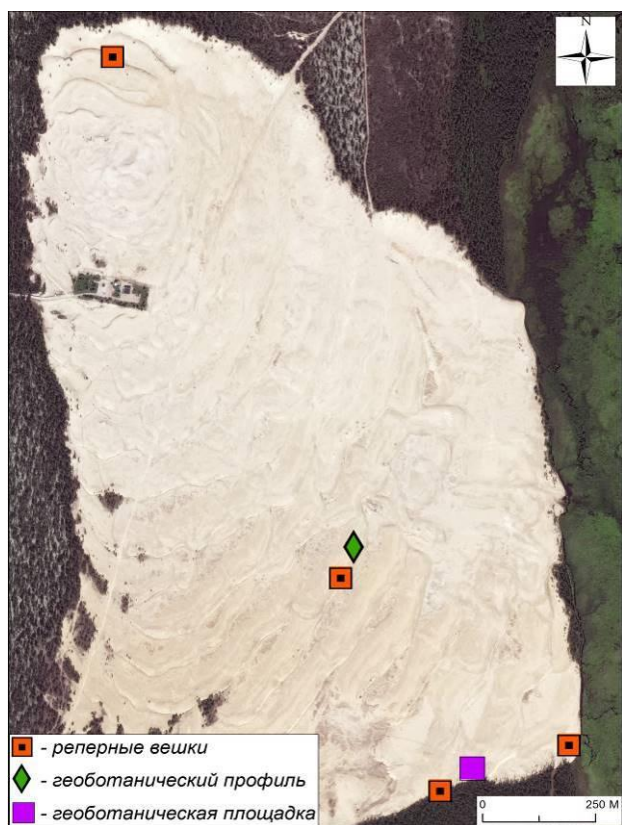


Рис.1. Расположение реперов, геоботанической площадки и профиля в пределах котловины выдувания

В ходе камеральных исследований были составлены крупномасштабные карты растительного покрова и схемы температурного режима и проведено тематическое дешифрирование космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения.

## Обсуждение результатов

Проведенные работы позволяют выделить ряд признаков, которые могут характеризовать динамику эолового рельефа в настоящее время:

1. Зарастанию развеваемых песков за годы наблюдений способствует увеличение количества атмосферных осадков и повышение суммы летних температур воздуха (рис. 2, 3). По данным Надымской метеостанции тренд повышения суммы летних температур за 1970-2012 годы составил 0,3°C в год. Количество атмосферных осадков за последнее десятилетие повысилось с 500 до 590 мм [Москаленко 2012].

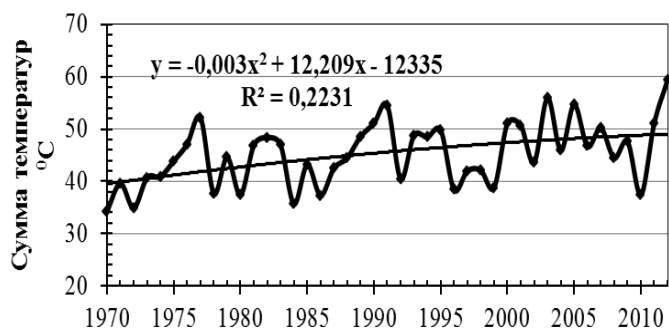


Рис. 2. Сумма летних температур воздуха, по данным Надымской метеостанции [Москаленко 2012]

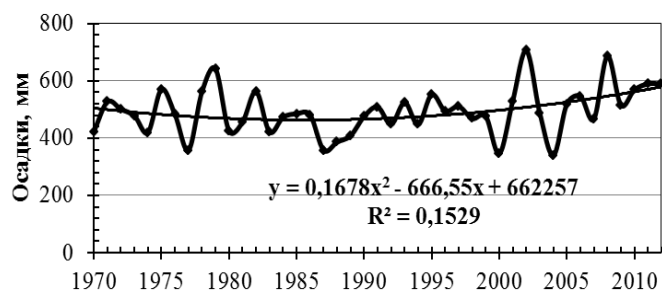


Рис. 3. Количество атмосферных осадков, по данным Надымской метеостанции [Москаленко 2012]

2. Сравнение описаний растительного покрова, выполненных в 2009, 2012, 2013 и 2014 гг. показало, что отмечается как появление травяных группировок на участках, ранее лишенных растительности, так и активизация процессов дефляции, угнетение растительности. Увеличение проективного покрытия, а также рост биоразнообразия происходит за счет появления новых видов трав, деревьев и мхов. Среди трав на разных элементах микрорельефа котловины доминируют вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), Овсяница Овечья (*Festuca ovina*) и пижма дважды перистая (*Tanacetum bipinnatum*). Из деревьев обычны береза извилистая (*Betula tortuosa*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*) и сосна лесная (*Pinus silvestris*). Из мхов характерен политрихум торчащий (*Polytrichum*



strictum). Растения, обильно встречающиеся на оголенных песках, способны со временем полностью закрепить песчаный раздув при условии уменьшения средних скоростей ветра.

3. В ходе экспедиции 2013-2014 гг. были исследованы различные участки дюны с пониженной кровлей многолетнемерзлых пород и детально описан растительный покров. Так на профиле (рис. 1) вершины дюны покрыты редкой растительностью, доминируют такие виды растений как: вейник Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorffii*), овсяница овечья (*Festuca ovina*) и пижма дваждыперистая (*Tanacetum bipinnatum*). Из деревьев обычны береза извилистая (*Betula tortuosa*). На подветренных склонах добавляются такие виды как скерда (*Crépis nigrescens*), шавель (*Rumex graminifolius*). Наветренные склоны остаются без растительности. Между дюнами в котловинах появляется мох (*Polytrichum strictum*).

4. Мощность сезонно-талого слоя (СТС) на буграх пучения увеличилась со 110 см (1972) до 450 см (2013). Температура многолетнемерзлых пород на глубине 10 м (слое с годовыми колебаниями температуры) повысилась на 0,5°C. Повышение температуры и увеличение СТС приводят к образованию локальных очагов дефляции на вершинах крупных бугров. При этом ландшафтные условия (переувлажнение) не располагают к расширению участков ветровой эрозии.

5. Предварительный анализ реперных пунктов показал, что в пределах котловины происходит заметное перемещение песчаного материала. Так, реперный пункт, установленный в зоне максимальной аккумуляции (южная граница котловины) оказался засыпан песком за один год (2013-2014) на 23 см. Однако за пределы котловины вынос песчаного материала практически не происходит.



Рис. 4. Аккумуляция песка в южной части песчаной котловины (фото С.А. Лоботросовой)

5. Сопоставление разновременных космических снимков (1968 год - разрешение 2,5 м/пикс., 2012 год - разрешение 0,5 м/пикс.) позволяет выявить следующие изменения: движение дюн по поверхности котловины (до 40 м) с сохранением общей ориентировки; локальное расширение границ раздувов в южном, западном и северо-западном направлении (до 20 м); заболачивание и зарастание отдельных участков котловин. Кроме этого

было установлено, что на территориях, пройденных лесными пожарами, не наблюдается расширение площади оголенных песков, т.е. климатические и гидрологические факторы лимитируют развитие процессов дефляции.

## Выводы

В целом результаты исследований показывают, что в настоящее время идет противоборство факторов ведущих к зарастанию с одной стороны и способствующих активизации процессов дефляции с другой. Можно предположить, что увеличение количества летних осадков и частичное заболачивание или зарастание песков препятствуют активизации эоловых процессов на рассматриваемой территории. Рост летних температур, а также изменения температурного режима многолетнемерзлых пород, перемещение песка наоборот способствуют развитию эоловых форм рельефа.

В последние годы наблюдается общий тренд к зарастанию оголенных песков и в других регионах. Так в Якутии в настоящее время также наблюдается постепенная естественная стабилизация песчаных массивов (тукуланов). Основной причиной считается изменение климатических условий в сторону потепления и роста влажности [Жиркова и др. 2012].

Таким образом, выявленные признаки с большой долей вероятности могут свидетельствовать о тенденции затухания эоловых процессов и стабилизации рельефа для естественных северной тайги Западной Сибири.

## Благодарности

Проект осуществлен при поддержке проекта Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-5582.2012.5) и Тюменской Губернской Академии, гранта РФФИ № 13-05-00811.

## Литература

- Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции. // Москаленко Н.Г., Васильев А.А., Гашев С.Н. и др. – М., Институт криосферы Земли СО РАН, 2006. - 358 с.
- Арнагельдыев А.Р. Морфология эолового рельефа песчаных пустынь. Ашхабад: Ылым, 1990, 164 с.
- Величко А.А., Тимирёва С. Н. Западная Сибирь- Великая позднеледниковая пустыня // Природа, №5, 2005. С. 54–62.
- Говорушко С.М. Влияние геологических, геоморфологических, метеорологических и гидрологических процессов на человеческую деятельность: иллюстрированное справочное пособие. – М.: Академический Проект; Киров: Константа, 2007. - 660 с.
- Жиркова В.В., Иванова А.М., Долгунова Т.А. Изучение динамики развития тукуланов Вилюйского района Республики Саха (Якутия) // Земля из космоса, 2012, - №13, - С. 47-50. Электронный ресурс: [docstypwww.zikj.ru/images/archive/no13\\_rus/no13\\_rus\\_8\\_zhirkova.pdf](http://docstypwww.zikj.ru/images/archive/no13_rus/no13_rus_8_zhirkova.pdf) свободный.

Москаленко Н.Г. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли, 2012, - №2, - С. 38-42.

Полежаев А.Н. Антропогенные изменения растительности на севере Дальнего Востока, меры охраны и возможности рекультивации // Устойчивость растительности к антропогенным факторам и биорекультивация в условиях Севера. – Сыктывкар, 1984. – С. 42-47.

Полынов Б.Б. Пески Донской области, их почвы и ландшафты, «Труды Почвенного ин-та им. В. В. Докучаева», 1926, вып. 1.

Соромотин А.В., Сизов О.С. Активизация эоловых процессов на севере Западной Сибири в связи с возросшим антропогенным воздействием// Проблемы Региональной Экологии, – №4, – М., 2007. С.12-15.

Телятников М.Ю. Антропогенная трансформация растительного покрова типичных тундр // География и природные ресурсы. 1993, № 2. - С.51-57.

Телятников М.Ю., Пристяжнюк С.А. Интразональные травяные сообщества полуострова Ямал и восточных предгорий Полярного Урала. // Растительный мир Азиатской России. – Новосибирск, 2012, №1 (9), - С. 96-105.

Чичагов В.П. Всюдность и уникальность эолового рельефообразования // Проблемы устойчивого развития в современной географической науке и образовании. — Томск, 2004. С.29-40.

Шилова И.И. Первичные сукцессии растительности на техногенных песчаных обнажениях в нефтегазодобывающих районах Среднего Приобья // Экология, 1977. - С. 5-14.



## Мониторинг криогенных геосистем в Ненецком автономном округе, их современное состояние и тенденции изменения

Г.В.Малкова

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень  
А.Г.Скворцов, А.М.Царев, М.Р.Садуртдинов, Я.В.Румянцева  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Приведены результаты мониторинга криогенных геосистем на геокриологических стационарах Болванский, Кашин и Шапкина, расположенных в зоне вечной мерзлоты на Европейском севере. В условиях современного потепления климата рассмотрены тренды повышения температуры многолетнемерзлых пород и межгодовая динамика глубины сезонного протаивания. Показано, что тренды температуры пород в различных криогенных геосистемах отстают от трендов температуры воздуха в несколько раз. Тренд  $T_{\text{возд}}$  за 30-летний период составляет  $0.07^{\circ}\text{C}/\text{год}$ , тренд  $T_{\text{МП}}$  изменяется в различных ландшафтах от  $0.01$  до  $0.03^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . В последние два года глубина протаивания достигла своей максимальной величины за весь период наблюдений, и на вершинах дренированных холмов, где развиты малольдистые породы, начали формироваться несквозные талики.

**Ключевые слова:** многолетнемерзлые породы, мониторинг, глубина протаивания, температура воздуха и пород

## Monitoring of Cryogenic Geosystems in the European North, Their Current Condition and Dynamics

G.V.Malkova

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia  
A.G.Skvortsov, A.M.Tsarev, M.R.Sadurtdinov, Ya.V.Rumyantseva  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

### Abstract

The results of monitoring of cryogenic geosystems on geocryological stations Bolvansky, Kashin and Shapkina located in the permafrost zone in the European North were shown. The increasing temperature trends of permafrost and interannual dynamics of the seasonal thawing depth have been studied in the modern climate warming. It was shown that the temperature trends of species in various cryogenic geosystems lag behind trends in air temperature several times. The trend  $T_{\text{air}}$  30-year period is  $0.07^{\circ}\text{C}/\text{year}$ , the trend  $T_{\text{ground}}$  -  $0.01$  to  $0.03^{\circ}\text{C}/\text{year}$ . In the last two years, the depth of thawing has reached its critical value and in cryogenic landscapes, where developed the low thermal inertial permafrost, began to form the closed taliks.

**Key Words:** permafrost, monitoring, active layer thickness, air and ground temperature

### Введение

Мониторинг криогенных геосистем в зоне вечной мерзлоты (геокриологический мониторинг) – это унифицированная система наблюдений за состоянием геологической среды на территории многолетнего и сезонного промерзания, оценки, контроля и прогноза ее изменений под воздействием природно-климатических и техногенных факторов. Особое внимание при проведении геокриологического мониторинга в различных геосистемах уделяется влиянию климатических изменений и техногенного фактора на температурный режим ММП и динамику криогенных процессов [Лавлов 2008]. К концу 1980-х годов общее число различных объектов режимных наблюдений (полигон, стационар, участок, профиль) на севере России составляло 110, а число пунктов наблюдений (площадка, скважина, закрепленная точка) превышало 600, в том числе на территории Ненецкого округа функционировало около 10

стационаров и более 100 наблюдательных площадок и скважин. В середине 1990-х годов в связи с экономическими причинами в России, большая часть информационных объектов мониторинга была закрыта или законсервирована. В Ненецком Автономном округе в настоящее время существуют только два действующих объекта мониторинга – Болванский и Кашин. В 2014 году удалось обследовать стационар Шапкина и подготовить для продолжения температурных замеров несколько скважин.

### Результаты мониторинга на стационаре Болванский

На стационаре Болванский, расположенном в южной тундре на побережье Печорской губы в пределах 3 морской равнины с абсолютными отметками около 30 м первичные наблюдения осуществлялись сотрудниками Тиманской ГРЭ и ВСЕГИНГЕО с 1983 по 1993 гг. Затем, после 6-летнего перерыва, с 1999 г. наблюдения были

продолжены во всех температурных скважинах и на площадке по изучению сезонноталого слоя.

В результате 30-летних наблюдений на стационаре Болванский получен уникальный массив фактических данных, позволяющий изучать как ритмические, так и трендовые изменения мощности сезонноталого слоя и температуры мерзлых грунтов. Эти данные могут быть чрезвычайно полезными при изучении современного состояния и эволюции геосистем Ненецкого округа в условиях глобального потепления климата и усиливающегося техногенеза.

Начиная с 1983 г. среднегодовая температура воздуха по данным метеостанции Болванский повысилась на 3°C, а среднегодовая температура ММП в различных ландшафтных условиях - только на 0.2...1.0°C. При этом тренд среднегодовой температуры воздуха составляет 0.07°C/год, а тренд температуры ММП существенно ниже – от 0.01 до 0.03°C/год (рис. 1).

Наибольшие тренды среднегодовой температуры ММП характерны для низкотемпературных криогенных геосистем, а наименьшие – для высокотемпературных [Малкова 2010; 2011; Дроздов и др. 2012].

На площадке мониторинга СТС стационара Болванский глубина сезонного протаивания пород за 14 лет регулярных наблюдений увеличилась на 20 см, тренд увеличения мощности СТС равен 1.5 см/год, но при сравнении с величиной протаивания пород в 1983-1993 гг. тренд составляет только 0.1 см/год.

В условиях современного потепления климата после нескольких аномально теплых лет среднегодовая температура пород на подошве СТС в геосистемах дренированных тундр повысилась от -3.5°C в 1980-е годы до 0...-0.2°C в 2011 и 2012 гг. Летом 2012 г. зафиксировано значительное увеличение глубины сезонного протаивания. Зимой 2012/2013 г протаившие породы не успели промерзнуть полностью вследствие значительной мощности снега и сокращения периода с отрицательными температурами. В результате в тундровых ландшафтах на локальных участках, сложенных с поверхности слабодыстистыми суглинками или песком, начали формироваться мерзлые толщи неслюющего типа (рис. 2). Если в верхней части разреза развит торф мощностью не менее 10 см, то такие геосистемы даже при температуре 0...-1°C продолжают оставаться стабильными.

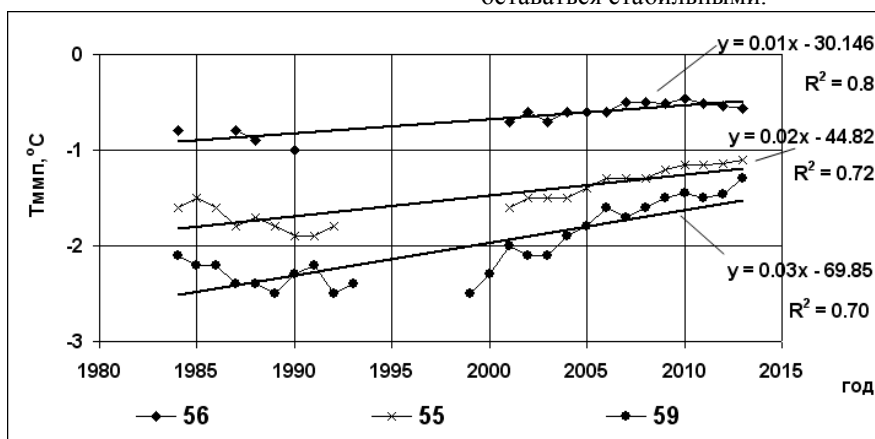


Рис.1. Среднегодовая температура ММП на стационаре Болванский.

скв. 59 – вершина холма, дренированная тундра; скв. 55 – полигональный торфяник; скв. 56 – бровка террасы, склон, тундра

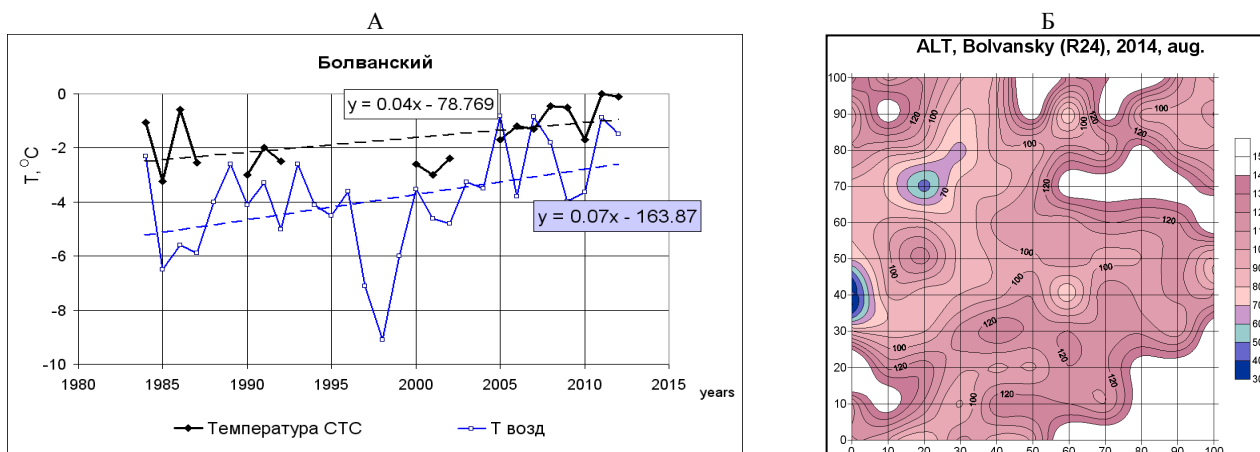


Рис.2. Среднегодовая температура воздуха и пород СТС (левый график, А) на стационаре Болванский и карта глубины СТС на площадке CALM 100x100 м (правый рисунок, Б).

Опущенная кровля ММП формируется также в отрицательных формах рельефа (лога, ложбины, склоны, котловины), где накапливается мощный снежный покров

и развит высокий кустарниковый покров. С помощью сейсмических методов установлено, что на закустаренных склонах и краевой части озерных

котловин кровля ММП погружается от 3 м в верхней части склона до 6-8 м в днище котловины. В отдельных ложбинах стока и логах с густым ивняком сейсмические исследования определили развитие надмерзлотного талика с максимальной мощностью 5.5 м [Мельников и др. 2010].

### Геокриологический мониторинг на стационаре Кашин

В 2009 г организована новая площадка геокриологического мониторинга в краевой части дельты Печоры (1 морская терраса) на острове Кашин в Коровинской губе. Абсолютные отметки поверхности составляют около 10 м.

Остров Кашин сложен мерзлыми песками, в верхней части разреза на отдельных участках встречается торф различной мощности. По геофизическим данным мощность мерзлоты в пределах острова составляет 30-40 м [Садуртдинов и др. 2012].

О динамике глубины протаивания на острове Кашин можно судить по 5-летним наблюдениям на площадке мониторинга СТС. В пределах площадки почти повсеместно с поверхности залегает торф различной мощности (от 5 до 25 см и более), он является хорошим теплоизолятором и способствует большей инерционности

ММП. Глубина протаивания пород хорошо коррелируется с ландшафтными условиями поверхности и мощностью торфа в пределах площадки. Минимальная глубина протаивания 40-50 см наблюдается в фациях торфяника с мощностью торфа 20-25 см и более, максимальная – до 100-110 см – в фациях дренированной тундры с мощностью торфа не более 5 см. За 5-летний период наблюдений наблюдалась тенденция увеличения глубины СТС. Средняя глубина протаивания в 2010 г. составляла 58 см, в 2011 г. - 64 см, а в 2012 и 2013 гг. достигала уже 88 см, т.е. увеличилась на 50%. Это объясняется значительным повышением температуры воздуха в летний период и более ранним сходом снежного покрова в последние 3 года. Но несливающиеся ММП, как на площадке Болванский, на острове Кашин пока не образуются. В 2014 г в результате относительно прохладного лета глубина СТС повсеместно в пределах площадки сократилась.

В центре описанной площадки в 2010 году была пробурена температурная скважина (глубиной 1.0 м), где в автоматизированном режиме 4 раза в сутки происходило измерение температуры воздуха, поверхности грунта и пород СТС на глубинах 5, 15, 30 и 60 см. В настоящее время мы располагаем массивом данных за четыре года (рис. 3).

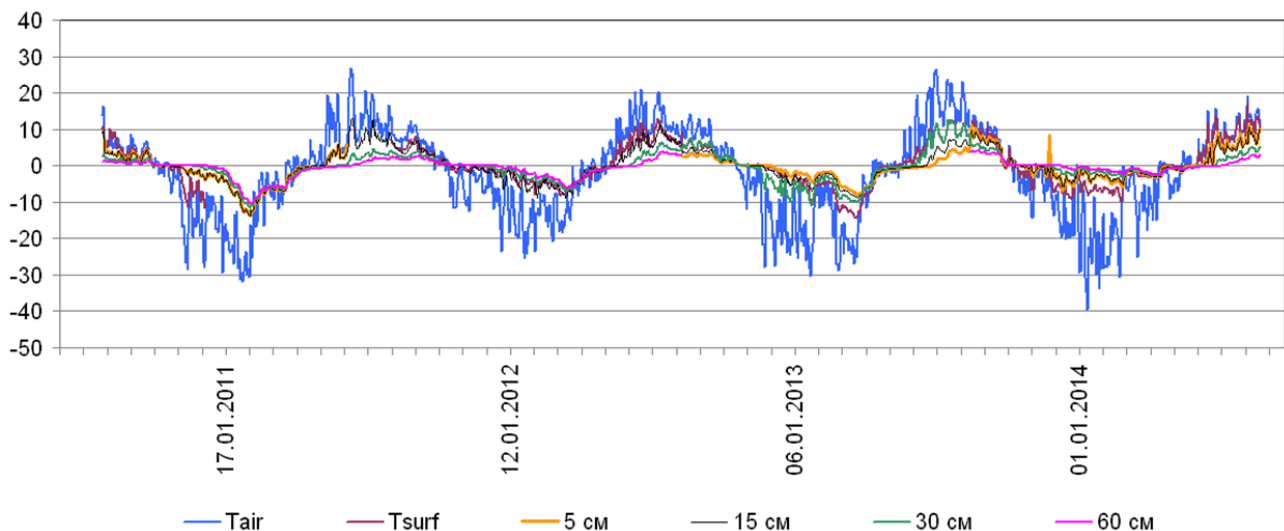


Рис. 3. Температурный режим воздуха, поверхности грунта и пород СТС на площадке Кашин

Температура пород СТС имеет тесную корреляцию с температурой воздуха. В 2010 г после относительно холодного года среднегодовая температура пород на подошве СТС составляла  $-1.7^{\circ}\text{C}$ , а после теплых 2012 и 2013 гг. она повысилась до  $0^{\circ}\text{C}$ . Это свидетельствует о большом тепловом импульсе, полученном породами СТС и верхним горизонтом ММП, и вероятно, о начале деградации мерзлоты в данных ландшафтных условиях.

В 2012 г на острове Кашин были пробурены две температурные скважины (скв. 1 – водораздельная поверхность, дренированная тундра а.о. 10 м; скв. 2 – торфяник, краевая часть острова, вблизи ложбины стока, а.о. 2 м). В 2012 г температура ММП в скв. 1 на забое

составляла  $-1.9^{\circ}\text{C}$ , в скв. 2  $-0.9^{\circ}\text{C}$ . За два года наблюдений среднегодовая температура ММП на забое повысилась до  $-1.5^{\circ}\text{C}$  в скв. 1 и до  $-0.8^{\circ}\text{C}$  в скв. 2. Продолжение наблюдений позволит оценить динамику ММП в данных ландшафтных условиях при происходящих климатических изменениях.

### Возобновление температурных наблюдений на стационаре Шапкина

Получены предварительные результаты обследования динамики температуры ММП в скважинах на стационаре Шапкина, расположенного в 100 км к югу от побережья

Печорской губы в континентальных условиях, в пределах 5 ледово-морской равнины с абсолютными отметками около 100 м. Регулярные геокриологические исследования проводились на этом стационаре в период с 1983 по 1993 год сотрудниками Тиманской ГРЭ, затем более 20 лет стационар не функционировал. Летом 2014 года нам удалось расконсервировать часть скважин на этом стационаре и провести температурные измерения в них. За 30-ти летний период температура ММП на глубине 10-12 м существенно повысилась. Наибольшие изменения произошли в геосистемах вершин холмов и водоразделов, занятых кустарничково-моховыми слабодренированными тундрами. В 1983 г. там наблюдалась температура  $-1.7^{\circ}\text{C}$ , а в 2014 г – уже только  $-0.6^{\circ}\text{C}$ , т.е. произошло повышение на  $1,1^{\circ}\text{C}$ . В болотных геосистемах произошли минимальные температурные изменения. В 1983 г температура пород на глубине 10 м составляла  $-0.7^{\circ}\text{C}$ , а в 2014 г – только  $-0.4^{\circ}\text{C}$  (рис. 4).

#### Среднегодовая температура пород, стационар Шапкина

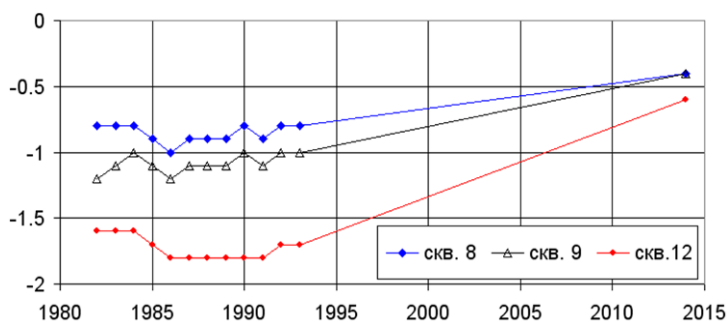


Рис. 4. Среднегодовая температура пород на глубине 10 м в скважинах 8, 9, 12. Стационар Шапкина.

На техногенно нарушенных площадках (при локальном снятии растительного покрова) в 80-е годы прошлого века также были организованы температурные скважины. При обследовании стационара в 2014 г оказалось, что все скважины на нарушенных площадках затекли и непригодны для продолжения температурных замеров. Установлено, что за счет изменения теплообмена на поверхности грунта кровля ММП на нарушенных участках опустилась на 4-5 м.

#### Выводы

Вечная мерзлота является основным средообразующим фактором Арктических территорий. Ведение геокриологического мониторинга является необходимым условием для оценки современного состояния и тенденций развития криогенных геосистем в условиях потепления климата и существенных климатических аномалий. Для Европейского севера в период с 1983 по 2014 г. характерен высокий тренд климатического потепления, равный  $0,07^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . ММП обладают некоторой инерционностью, тренды повышения среднегодовой температуры ММП в естественных ландшафтных условиях в 2-7 раз меньше трендов среднегодовой температуры воздуха. Температура пород СТС значительно быстрее реагирует на изменение температуры воздуха. В доминантных ландшафтных

условиях среднегодовая температура пород СТС повысилась от  $-3,5^{\circ}\text{C}$  в 80-е годы прошлого века до  $0^{\circ}\text{C}$  в 2011-2012 гг., что способствовало опусканию кровли ММП и формированию мерзлых толщ неслюющего типа. Для оценки результата совместного воздействия климатических и антропогенных изменений в криогенных ландшафтах необходимо расширять сеть мониторинга, привлекать автоматизированные методы сбора информации, широко использовать дистанционные, в том числе геофизические методы для определения параметров ММП.

#### Благодарности

Работы выполняются при финансовой и технической поддержке международных проектов CALM и TSP, поддержке экспедиций Президиума СО РАН. При проведении полевых работ большое содействие оказывают сотрудники заповедника Ненецкий и лично директор Золотой С.А.

#### Литература

- Дроздов Д.С., Малкова Г.В., Украинцева Н.Г., Коростелев Ю.В. Мониторинг геокриологических условий южнотундровых ландшафтов Европейского Севера и Западной Сибири //10-я Международная конференция по мерзлотведению, ТИСОП: Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. – Салехард, 2012, Т.3, с. 159-164.
- Малкова Г.В. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // Криосфера Земли т. XIV, №3, 2010, с. 22-35
- Малкова Г.В. Мониторинг температуры и глубины сезонного протаивания пород на стационаре Болванский в дельте Печоры / Материалы 4-й конференции геокриологов России, МГУ имени М.В.Ломоносова 7-9 июня 2011 г. Т.2, ч.5: Региональная и историческая геокриология. М., Изд-во Университетская книга, 2011. С. 111-118.
- Мельников В.П., Скворцов А.Г., Малкова Г.В., Дроздов Д.С., Пономарёва О.Е., Садуртдинов М.Р., Царёв А.М., Дубровин В.А. Результаты изучения геокриологических условий арктических территорий с помощью сейсмических методов // Геология и геофизика, 2010, №1, т.51, с. 171-180
- Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. – Новосибирск, ГЕО, 2008, 229 с.
- Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г., Царев А.М., Малкова Г.В. Изучение геокриологических условий острова Кашин в дельте Печоры с помощью сейсмических методов // Десятая Международная конференция по мерзлотведению (ТИСОП): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. – Тюмень, Россия: Печатник, 2012. с. 273-274

## Влияние инфицированности штаммами микроорганизмов многолетних мёрзлых пород на исходы закрытой ЧМТ

В.А.Мальчевский

Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень  
ФГБОУ ВПО «Тюменская государственная медицинская академия», Тюмень

А.М.Субботин, С.А.Петров

Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень

А.Г.Немков

ФГБОУ ВПО «Тюменская государственная медицинская академия», Тюмень

### Реферат

Изучено в эксперименте влияние инфицированности штаммами микроорганизмов *рода Bacillus*, выделенных из проб многолетних мёрзлых пород, на исходы закрытой нейротравмы головного мозга у крыс Wistar. Получены данные о различном влиянии инфицированности, в зависимости от вида штамма, микроорганизмами *рода Bacillus* на уровень смертности в эксперименте у животных при закрытой нейротравме головного мозга. Доказано, что комплекс метаболитов штамма Ch2/9 – *Bacillus sp (pumilus)* при закрытой нейротравме головного мозга в эксперименте обладает протективным эффектом.

**Ключевые слова:** нейротравма; головной мозг; штамм; инфицированность.

## Influence of Infection by Strains of Microorganisms Perennial Frozen Rocks on the Outcomes of a Closed Head Injury

V.A.Malchevskiy

Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia

Tyumen State Medical Academy, Tyumen, Russia

A.M.Subbotin, S.A.Petrov

Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia

A.G.Nemkov

Tyumen State Medical Academy, Tyumen, Russia

### Abstract

The influence of contamination by *Bacillus* micro organisms strain from multiyear frozen ground samples on the outcome of closed brain injure in Wistar rats was studied experimentally. The data on the different influence of contamination by *Bacillus* micro organisms depending on strain type on laboratory animals with closed brain injure mortality rate were obtained. The metabolite complex of strain Ch2/9 – *Bacillus sp (pumilus)* in trial closed brain injure was proved to be protective.

**Key Words:** neurotrauma; brain; strain; contamination.

### Введение

Окружающая среда влияет на скорость и вектор протекания в организме человека физиологических и патологических процессов [Калёнова 2014]. В экстремальных условиях Севера и Крайнего Севера её влияние многократно усиливается, что обуславливает выраженное напряжение всех адаптационных механизмов макроорганизма [Брушков и др. 2009]. Следствием данной ситуации является появление существенных особенностей течения физиологических и патологических процессов в организме человека [Мальчевский Петров 2013, Филимонов, Мальчевский Петров 2014]. Механизмы воздействия среды обитания на макроорганизм различны. Один из них воздействие на него окружающей сапрофитной микробиоты. Имеются

данные о влиянии инфицированности штаммами микроорганизмов *рода Bacillus*, выделенных из проб многолетних мёрзлых пород (ММП), на состояние иммунной системы млекопитающих [Калёнова 2014, Субботина Калёнова Бажник 2012]. Большой медико-социальной проблемой для современного общества является высокая смертность в результате нейротравмы головного мозга. Причём по данным статистики её процент весьма существенно варьирует в зависимости от района проживания пострадавшего [Потанов и др. 2015]. Этот факт не может быть, на наш взгляд, объяснён только разной квалификацией специалистов, оказывающих помощь, и уровнем материального обеспечения лечебных учреждений, так как они фактически одинаковы.

На основе выше изложенного нами была сформулирована гипотеза о влиянии инфицированности



штаммами микроорганизмов рода *Bacillus*, выделенных из проб ММП, на исходы лечения закрытой нейротравмы головного мозга у людей проживающих в условиях Севера и Крайнего Севера. Подтвердить или опровергнуть её и стало целью проведённого нами экспериментального исследования.

**Цель исследования:** изучить в эксперименте влияние инфицированности штаммами микроорганизмов рода *Bacillus*, выделенных из проб ММП, на исходы закрытой нейротравмы головного мозга.

### Методика исследования

Для подтверждения гипотезы был проведен эксперимент на лабораторных крысах линии Wistar мужского пола. Критериями включения лабораторных животных в эксперимент были следующие: на начало эксперимента они должны быть клинически здоровы, их возраст не должен быть менее 65 и более 85 дней, а вес не менее 160 гр. и не более 175 гр.

Все животные, принимавшие участие в эксперименте, были разделены на пять экспериментальных групп по 30 животных в каждой. Во всех экспериментальных группах, согласно международным требованиям Хельсинкской декларации всемирной медицинской ассоциации, Европейской Конвенции о защите позвоночных животных, используемых в эксперименте и для других научных целей (№ 123, 1986 г), а так же приказа МЗ РФ № 267 от 19.06.03 «Правила лабораторной практики в РФ» о гуманном отношении к лабораторным животным, в момент нанесения нейротравмы они находились под общей анестезией. Общая анестезия осуществлялась введением внутримышечно животным за 15 минут до нанесения закрытой нейротравмы препарата «Solutionis gometaurum» (по 0,01 мл). В эксперименте использовался способ моделирования закрытой нейротравмы у крыс по [Kilbourne et al 2009].

В работе использовали штаммы микроорганизмов рода *Bacillus*, выделенные из ММП и идентифицированные методом сиквенса 16S RNA: *Ch2/9 – Bacillus sp (pumilus)*, *MG8 - Bacillus sp. (cereus)*, *8/75-1 - Bacillus megaterium*. Первичный сравнительный анализ последовательностей РНК данных бактерий с последовательностями базы данных GenBank проведён с помощью программы Blast. Редактирование последовательностей проводили с помощью программы BioEdit.

Культивирование штаммов бактерий и приготовление комплексов метаболитов осуществлялось по описанной ниже методике. Штаммы бактерий высевали в 5 пробирок на скошенный питательный агар для культивирования микроорганизмов (ГРМ - агар г.Оболонск. ТУ 9398-020-78095326-2006), культивировали в термостате 24 часа при  $t +36^{\circ}\text{C}$ , затем производили смыв микроорганизмов из каждой пробирки 5 мл физиологического раствора. Концентрацию микроорганизмов определяли культуральным методом предельных разведений по количеству КОЕ на агаризованной питательной среде в чашках Петри. После определения количества клеток бактерий в исходной

суспензии плотность культур доводили до концентрации в  $1 \times 10^{12}$  м.к./мл (микробных клеток в 1 мл физиологического раствора). Получали метаболиты методом фильтрования бактериальной взвеси через фильтр фирмы «Millipor» с диаметром пор 0,22 мкм (Durapore membrane filters, type 0.22 mm GV). Для введения препаратов метаболитов бактериям крысам их дополнительно разводили в пропорции 10 мкл метаболита на 10 мл физиологического раствора. В качестве сравнительного контроля в работе использовали смыв физиологическим раствором с поверхности стерильной питательной среды с последующей фильтрацией через фильтр фирмы «Millipor».

Комплекс метаболитов штаммов вводился внутрибрюшинно за 10 минут до нанесения закрытой нейротравмы в количестве 0,015–0,020 мкг белкового компонента в 0,5 мл физиологического раствора. В I экспериментальной группе животным, кроме «Solutionis gometaurum», других препаратов и веществ не вводилось. Во II – животным внутрибрюшинно за 10 минут до нанесения закрытой нейротравмы в количестве 0,5 мл вводился смыв физиологического раствора с поверхности стерильной питательной среды с последующей фильтрацией через фильтр фирмы «Millipor». В III – животным внутрибрюшинно за 10 минут до нанесения закрытой нейротравмы вводился комплекс метаболитов *Ch2/9 – Bacillus sp (pumilus)*. В IV – животным внутрибрюшинно за 10 минут до нанесения закрытой нейротравмы вводился комплекс метаболитов *MG8 - Bacillus sp. (cereus)*. В V – животным внутрибрюшинно за 10 минут до нанесения закрытой нейротравмы вводился комплекс метаболитов *8/75-1 - Bacillus megaterium*. Наблюдение за животными после нанесения закрытой нейротравмы продолжалось в течение 72 часов.

При завершении эксперимента эвтаназия крыс осуществлялась углекислым газом в течение 15–20 мин. У всех животных участвующих в эксперименте после их смерти осуществлялась трепанация костей черепа с забором головного мозга и последующим визуальным микроскопическим исследованием. В дальнейшем проводилось изготовление гистологических препаратов головного мозга с окраской гематоксилин-эозином и последующим микроскопическим исследованием полученных срезов в световом микроскопе «Axioskop 2 plus» фирмы «Carl Zeiss AG».

Статистический обсчет материала проводился согласно международным требованиям, предъявляемым к обработке результатов данных научных исследований, при помощи программы для персональных компьютеров «SPSS 11,5 for Windows» (среднее значение, дисперсия средних, параметрическое сравнение по критерию Стьюдента, частотный анализ).

### Результаты исследования

Результаты, полученные в ходе проведения эксперимента по изучению влияния инфицированности штаммами *Ch2/9 – Bacillus sp (pumilus)*, *MG8 - Bacillus sp. (cereus)*, *8/75-1 - Bacillus megaterium*, выделенных из проб ММП, на исходы закрытой нейротравмы головного мозга приведены в табл. 1 и 2.





Данные приведённые в табл. 1 демонстрируют, что в III экспериментальной группе, где вводился комплекс метаболитов штамма *Ch2/9 – Bacillus sp (pumilus)* в течение 72 часов после нанесения закрытой нейротравмы головного мозга гибели животных не отмечалось, что является статистически достоверным по сравнению с контрольными группами I и II. В IV, V экспериментальных группах процент гибели животных составил  $53,3 \pm 9,11\%$  и  $63,3 \pm 8,79\%$  соответственно не отличаясь статистически достоверно ( $p < 0,05$ ) от показателей в I (контрольной). Снижение процента гибели животных до  $36,7 \pm 8,79\%$  во II экспериментальной группе можно, на наш взгляд, можно объяснить активацией симпатической системы в ответ на раздражение брюшины при введении физиологического раствора. Симпатикотония, в свою очередь повышая артериальное давление, приводит к повышению перфузии головного мозга. Более высокое перфузионное давление у животных II группы, уменьшая выраженность посттравматического отёка головного мозга, обуславливает увеличение процента выживаемости. Однако это не является достоверным отличием от контрольной группы I.

Анализируя данные приведённые в табл. 2, можно прийти к заключению, что у умерших животных II экспериментальной группы статистически достоверно ( $p < 0,05$ ) среднее время наступления смертельных исходов после закрытой нейротравмы головного мозга наступало позже, чем у лабораторных крыс I, IV, V экспериментальных групп. Достоверной разницы ( $p < 0,05$ ) между средним временем наступления смертельных исходов после закрытой нейротравмы головного мозга среди животных I, IV, V экспериментальных групп не выявлено. Следовательно, инфицированность лабораторных крыс штаммами *MG8 -*

*Bacillus sp. (cereus)* и *8/75-1 - Bacillus megaterium* не повышает у них среднее время наступления смертельных исходов после закрытой нейротравмы головного мозга.

При патологоанатомическом вскрытии у 100% погибших животных обнаружены типичные макроскопические признаки тяжелой нейротравмы. В результате микроскопического исследования полученных гистологических срезов, наименее выраженные признаки отёка тканей головного мозга были выявлены у животных III экспериментальной группы, которым вводился комплекс метаболитов *Ch2/9 – Bacillus sp (pumilus)*.

Комплексы метаболитов штаммов микроорганизмов *рода Bacillus*, выделенных из проб ММП в патологических процессах при нейротравме играют пока неизвестную для исследователей важную роль. Учитывая отсутствие гибели животных при нейротравме при введении комплекса метаболитов штамма *Ch2/9 – Bacillus sp (pumilus)* можно предположить, что он оказывает положительное влияние на течение патологического процесса у макроорганизма.

Таким образом, основываясь на полученных в ходе эксперимента данных, авторы пришли к следующим выводам:

- В зависимости от вида штамма микроорганизмов *рода Bacillus*, выделенных из проб ММП, инфицированность ими может по разному влиять на уровень смертности у животных при закрытой нейротравме головного мозга в эксперименте.
- Комплекс метаболитов штамма *Ch2/9 – Bacillus sp (pumilus)* при закрытой нейротравме головного мозга в эксперименте обладает протективным эффектом.

Таблица 1. Смертельные исходы закрытой нейротравмы головного мозга у лабораторных животных в экспериментальных группах в течение 72 часов ( $M \pm m$ )

Показатель	Экспериментальные группы				
	I (n = 30)	II (n = 30)	III (n = 30)	IV (n = 30)	V (n = 30)
Количество смертельных исходов	17	11	0	16	19
Процент умерших животных от общей численности группы	$56,7 \pm 9,04^3$	$36,7 \pm 8,79^3$	$0^{1,2}$	$53,3 \pm 9,11^3$	$63,3 \pm 8,79^{2,3}$

**Примечание.** *n* – число животных; <sup>1</sup> - достоверность различий при  $p < 0,001$  с группой I; <sup>2</sup> - достоверность различий при  $p < 0,05$  с группой II; <sup>3</sup> достоверность различий при  $p < 0,05$  с III группой.

Таблица 2. Среднее время наступления смертельных исходов после закрытой нейротравмы головного мозга в часах у лабораторных животных в экспериментальных группах ( $M \pm m$ )

Показатель	Экспериментальные группы				
	I (n = 30)	II (n = 30)	III (n = 30)	IV (n = 30)	V (n = 30)
Среднее время наступления смерти животного (в часах)	$21,06 \pm 1,09^{2,3}$	$28,13 \pm 2,05^{1,3}$	$72,00 \pm 0,00^{1,2}$	$20,45 \pm 1,98^{1,2,3}$	$22,04 \pm 2,11^{1,2,3}$

Примечание. *n* – число животных; <sup>1</sup> достоверность различий при  $p < 0,05$  с I группой; <sup>2</sup> достоверность различий при  $p < 0,05$  со II группой; <sup>3</sup> достоверность различий при  $p < 0,05$  с III группой.

## Литература

Брушков А.В., Мельников В.П., Суховей Ю.Г. и др.  
Реликтовые микроорганизмы криолитозоны как

возможные объекты геронтологии // Успехи геронтологии. 2009. Т. 22. № 2. С. 253-258.

Калёнова Л.Ф., Новикова М.А., Субботин А.М. Влияние микроорганизмов вечной мерзлоты на репарацию

- кожной раны // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2014. Т. 158, № 10. С. 480-485.
- Калёнова Л.Ф., Суховой Ю.Г., Брушков А.В. и др. Влияние микроорганизмов вечной мерзлоты на морфофункциональную активность иммунной системы в эксперименте // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2011. Т. 151, № 2. С. 164-167.
- Мальчевский В.А., Петров С.А. Влияние низкотемпературного фактора внешней среды на заболеваемость гонартрозом у мужчин, работающих в условиях Крайнего Севера // Фундаментальные исследования. 2013. № 9, Ч. 4. С. 692-694.
- Потапов А.А., Коновалов А.Н., Корниенко В.Н. и др. Целевая научно-техническая программа - стратегический путь решения социальных и медицинских проблем, связанных с черепно-мозговой травмой // Российские медицинские вести. 2010. Т. 15. № 3. С. 92-96.
- Субботин А.М., Калёнова Л.Ф., Бажин А.С. Влияние некоторых штаммов бактерий, выделенных из многолетнемёрзлых пород на иммунофизиологические показатели мышей // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2012. № 4. С. 164.
- Филимонов В.Н., Мальчевский В.А., Петров С.А. Динамика значений индексных показателей у больных с последствиями геморрагического инсульта, проживающих в условиях Севера и Крайнего Севера // Фундаментальные исследования. 2014. № 7, Ч. 2. С. 372-375.
- Филимонов В.Н., Мальчевский В.А., Петров С.А. Динамика значений оценки психологических ограничений у больных с последствиями геморрагического инсульта, проживающих в условиях Севера и Крайнего Севера // Фундаментальные исследования. 2014. № 7, Ч. 3. С. 578-581.
- Kilbourne M., Kuehn R., Tosun C. et al. Novel model of frontal impact closed head injury in the rat // Journal of Neurotrauma. 2009. Vol. 26. № 12. P. 2233-2243.



## Факторы окружающей среды – основополагающее звено в геомедицинских исследованиях Арктической зоны РФ

Н.Л.Мамаева, С.А.Петров

Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень

### Реферат

В соответствии с геокриологическим районированием исследование проведено в п. Самбург и г. Тарко-Сале Пуровского района ЯНАО, которые относятся к Северной зоне Харасавей-Новоуренгойской подзоне Устьпуровско-Тазовской области и Центральной зоне Игарко-Нумтинской подзоне Пуровской области соответственно. Рассмотрены экологические факторы Арктической зоны РФ и выполнены корреляционные взаимосвязи между ними и иммунным здоровьем малочисленных народов Севера, проживающих в районах традиционного природопользования. Изучено состояние многолетнемерзлых пород как естественных (без вмешательства антропогенного воздействия) так и нарушенных мерзлотных почв во взаимосвязи с климатическими факторами окружающей среды. На основе системных знаний о влиянии факторов окружающей среды на состояние здоровья аборигенного населения намечены перспективы развития и необходимость дальнейшего изучения геомедицинских исследований.

**Ключевые слова:** антропогенный фактор; Арктическая зона России; геомедицина; иммунное здоровье; малочисленные народы Севера; экология.

## Factors of an Environment – a Basic Part in Geomedical Researches of the Arctic Zone of the Russian Federation

N.L.Mamaeva, S.A.Petrov

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS, Tyumen, Russia

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia

### Abstract

The present research was carried out in Samburg and Tarko-Sale Purovskogo area JANA O which was concerned to Northern zone Harasavey-Novourengoyskay subzone of Ustpurvovsko-Tazovskiy region and in Central zone Igarko-Numtinskay subzone of Purovskiy area accordingly. Ecological factors of the Arctic zone of the Russian Federation were considered and correlation interrelations between them and immune health of small number of the North peoples living in areas of traditional wildlife management were executed. The condition of long-term frozen breeds either natural (without intervention of anthropogenous influence) or broken frozen ground in interrelation with climatic factors of an environment was investigated. On the basis of system knowledge of influence of factors of an environment on a state of health of the native population prospects of development and necessity of the further studying of geomedi cal researches were planned.

**Key Words:** The anthropogenous factor; Russia Arctic regions; geomedicine; immune health; small peoples of the North; ecology.

### Актуальность проблемы

Арктическая зона РФ – обширная, важная и многоликая территория (рис. 1), имеющая важнейшее национальное достояние и занимающая площадь около 11 млн. км<sup>2</sup> (64% территории страны) [Тихонов 2010].

Большой познавательный и практический интерес к сокровищам Арктики обусловлен ее огромными природными богатствами. По оценкам геологической службы США в Арктике находятся 90 млрд. баррелей нефти, 47,3 трлн. м<sup>3</sup> газа, 44 млрд. баррелей газового конденсата. Таким образом, когда речь заходит о природных богатствах России, то Сибирский регион оказывается вне конкуренции, т.к. на долю Сибири в запасах того или иного полезного ископаемого приходится свыше 70 % [Мельников 2012].

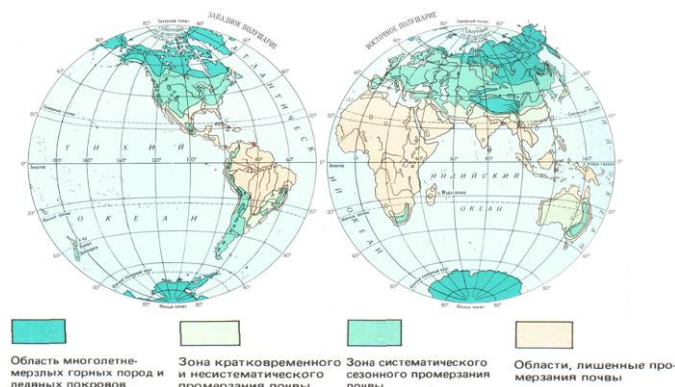


Рис. 1. Криогенные области Земли [Мир географии 1984]

Сформировавшись в процессе многотысячелетней адаптации к экстремальным условиям Севера и пройдя через «сито» жесткого стабилизирующего отбора, малочисленные народы Севера (МНС) оказались уязвимы

перед сложившейся экологической ситуацией, что, несомненно, отразилось на их здоровье [Петров С.А., Мамаева Н.Л. 2014, Mamaeva N.L., Petrov S.A. 2013]. Учитывая все это, изучение влияния экологических факторов на здоровье МНС, проживающих в районах Крайнего Севера, является актуальным. Актуальность проблемы усиливается тем, что комплексным исследованиям влияния антропогенно-экологических факторов, климатических условий окружающей среды и геофизиологических характеристик Арктической зоны РФ на физическое благополучие МНС в настоящее время уделяется недостаточное внимание.

При этом очень важно для планирования лечебно-профилактических мероприятий по сохранению полного физического благополучия МНС изучение влияния различных экологических факторов криолитозоны Арктической зоны РФ. А также комплексное исследование экологических факторов окружающей среды, необходимо для организации мониторинга за состоянием биосферы Крайнего Севера и иммунного здоровья МНС, а его использование является фактором для дальнейшего развития геомедицины.

В связи с этим целью нашей работы явилось изучение влияния антропогенно-экологических факторов, климатических условий окружающей среды и геофизиологических характеристик Арктической зоны РФ на состояние организма тундровых ненцев.

## Материалы и методы исследования

Исследование проведено в Северной зоне Харасавей-Новоуренгойской подзоне Устьпуровско-Газовской области (п. Самбург) и в Центральной зоне Игарко-Нумтинской подзоне Пуровской области (г. Тарко-Сале). Объектом исследования явились тундровые ненцы.

Самбург расположен в Уренгойской нефтегазоносной области с высокой плотностью начальных потенциальных ресурсов углеводородного сырья. Вблизи поселка расположено Самбургское месторождение газоконденсата и нефти с 11 залежами, в том числе: 6 газоконденсатных, 2 нефтяных и 3 нефтегазоконденсатных. Плотность населения в исследуемом поселке составляет 1-10 чел. на км<sup>2</sup>. Кочующее население составило 500 чел.

Тарко-Сале расположен в Пур-Газовской нефтегазоносной области, которая характеризуется высокими ресурсами углеводородного сырья. Вблизи поселка расположено крупное Восточно-Таркосалинское месторождение газоконденсата и нефти с 17 залежами углеводородного сырья, в том числе: 1 газовое, 8 газоконденсатных, 8 нефтяных с газоконденсатной оторочкой. Плотность населения в исследуемом поселке составляет 10-50 чел. на км<sup>2</sup> [Атлас ЯНАО 2004].

Проанализировано также качество поверхностных водных объектов: химическая характеристика сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты по различным загрязняющим веществам; концентрация загрязняющих веществ в контрольном створе водного объекта ( $C_{к. ст.}$ , мг/л). Анализировалось загрязнение атмосферного воздуха: выбросы загрязняющих веществ,

максимальное значение приземной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе ( $C_m$ , мг/м<sup>3</sup>).

Для изучения климатических условий Устьпуровско-Газовской и Пуровской геофизиологических областей проанализированы температурные особенности: годовая и средняя  $t^\circ$  воздуха, средний и абсолютный минимум, максимум  $t^\circ$  и амплитуда температурных колебаний воздуха за год. Климатические данные получены из Климатологических справочников, а также с сайта ([www.meteo.infospace.ru](http://www.meteo.infospace.ru)). При изучении физиологических условий (мощности и влажности сезонно-талого слоя) в рассматриваемых районах использовали данные Института криосферы Земли СО РАН [Москаленко 2006].

Сбор материала по заболеваемости тундровых ненцев проводили по данным Тарко-Салинской Центральной районной больницы, а также во время экспедиций в естественных условиях их проживания. Иммунологическое исследование проводили с использованием лабораторных методов: флюоресцентной микроскопии и иммуногистохимии (CD-95, -3, -16; Ki67), ИФА-методов (IgA, M, G; ИНФ- $\gamma$ ; ИЛ-4), методом преципитации раствором полиэтиленгликоля (ПЭГ) определяли уровень циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК) в крови.

Изучаемые качественные и количественные признаки подвергали статистической обработке с использованием интегрированного пакета программного обеспечения «SPSS 11,5 for Windows».

## Результаты исследования

Бурное промышленное освоение территорий проживания МНС достаточно жестко вторгается в жизнь этих народов и нарушает экологический баланс данных территорий природопользования.

### Антропогенно-экологические факторы

Установлено, что сброс сточных вод в поверхностные водные объекты в Пуровской геофизиологической области по сравнению с Устьпуровско-Газовской геофизиологической областью больше по следующим веществам: железу ( $1,57 \pm 0,17$  и  $0,37 \pm 0,11$  тонн соответственно при  $p < 0,001$ ), хлоридам ( $0,02 \pm 0,004$  и  $0,01 \pm 0,002$  тыс. тонн соответственно при  $p < 0,05$ ), азоту аммонийному ( $10,89 \pm 1,66$  и  $1,01 \pm 0,17$  тонн соответственно при  $p < 0,001$ ). Было выявлено также превышение загрязняющих веществ как твердых ( $14210,65 \pm 2676,63$  по сравнению с  $104,88 \pm 15,14$  тонн при  $p < 0,001$ ), так и газообразных и жидких ( $381767,50 \pm 31927,93$  по сравнению с  $8504,53 \pm 1576,76$  тонн при  $p < 0,001$ ) в Пуровской геофизиологической области.

По Методике расчета предельно допустимых сбросов (ПДС) веществ в водные объекты со сточными водами и Общесоюзному нормативному документу (ОНД-86) рассчитаны концентрация каждого загрязняющего вещества в воде контрольного створа ( $C_{к. ст.}$ , мг/л) и максимальное значение приземной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе ( $C_m$ , мг/м<sup>3</sup>) с целью дальнейшего сравнения с ПДК (табл. 1). Выявлено, что концентрации загрязняющих веществ в

сточных водах, сброшенных в поверхностные водные объекты, как в Устьпуровско-Тазовской, так и в Пуровской геоэкологической областях не превышают ПДК. Учитывая, что многолетнемерзлые породы (ММП) могут задерживать различные загрязняющие вещества и их аккумулировать, необходимо при установлении ПДК загрязняющих веществ для северных территорий этот норматив пересмотреть в сторону снижения. Установлено превышение в атмосфере ПДК максимально-разовой (ПДК м.р.) по твердым веществам и оксиду углерода в Пуровской геоэкологической области, а также оксидам азота как в Пуровской, так и в Устьпуровско-Тазовской геоэкологических областях.

Таблица 1. Концентрации загрязняющих веществ в воде контрольного створа (С к. ст.) и максимальные значения приземной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе (С<sub>м</sub>) в геоэкологических областях и ПДК

Наименование вещества	Концентрация загрязняющих веществ		Нормативы		
	Устьпуровско-Тазовская	Пуровская	ЛПВ	ПДК	Кл. опти
Концентрации загрязняющих веществ в воде контрольного створа (С к. ст.), мг/л					
СПАВ	0,00000141	0,000003963	Орган	0,5	3
Фосфор общий	0,00000881	0,000020951	Сантокс.	0,0001	1
Железо	0,00001304	0,00000889	Орган	0,3	3
Сульфаты	0,00035233	0,001132492	Орган	500	4
Хлориды	0,00035	0,00113	Орган	350	4
Азот аммонийный	0,00003558	0,000616642	Сантокс.	2,0	3
Нитраты	0,00026601	0,00029558	Сантокс.	45	3
Нитриты	0,00000387	0,0000436	Сантокс.	3,3	2
Максимальные значения приземной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе (С <sub>м</sub> ), мг/м <sup>3</sup>					
Твердые	0,13260	0,67906	Рез.	0,50	3
Диоксид серы	0,104847	0,04442	Рефл.-рез.	0,50	3
Оксид углерода	5,105509	10,29763	Рез.	5,0	4
Оксиды азота	1,692765	1,13704	Рефл.-рез.	0,085	2

Известно, что на здоровье людей наибольший вред могут оказывать микроскопические твердые частицы (пыль, сажа, зола и т.д.), обладающие способностью накапливаться в организме и вызывать нарушения в морфофункциональном состоянии иммунной системы. Следующий источник загрязнения атмосферы – это оксид углерода (класс опасности 4), который образуется при сжигании топлива и может привести к изменению температуры воздуха – его ПДК м.р. превышена в два раза в Пуровской геоэкологической области. Еще один загрязнитель атмосферного воздуха – это соединения оксидов азота (ПДК м.р. = 0,085 мг/м<sup>3</sup>), имеющие класс опасности 2 – высокоопасный. В Устьпуровско-Тазовской геоэкологической области его превышение составляет почти 20 ПДК, в Пуровской – 13 ПДК.

### Климатические условия

Кроме антропогенно-экологических факторов на состояние физического благополучия МНС влияют климатические условия территории, которые в свою очередь, зависят от особенностей ММП. Обнаружено, что средняя t° воздуха в 13 часов дня достоверно выше в Пуровской геоэкологической области по сравнению с Устьпуровско-Тазовской геоэкологической областью. Та же самая ситуация прослеживается со средним минимумом t° воздуха (-10,19±0,4 по сравнению с -12,75±0,37°С при p<0,001). При этом в Пуровской геоэкологической области за год в целом размах t° воздуха больше, чем в Устьпуровско-Тазовской геоэкологической области (76,64±0,95 по сравнению с 72,56±0,65°С при p<0,01).

При корреляционном анализе установлено, что между максимумом t° воздуха и содержанием железа, хлоридов, нитратов, нитритов в сточных водах имеются прямые взаимосвязи (КК=0,8 при p<0,01; КК=0,78 при p<0,01; КК=0,66 при p<0,05; КК=0,73 при p<0,05 соответственно). Их накопление в сточных водах в сезонно-талом слое (СТС) почвы способствует заболачиванию и эвтрофикации водоемов, что сопровождается «парниковым эффектом».

Обнаружено, что в Пуровской геоэкологической области количество осадков как в холодный и теплый периоды, так и за год в целом достоверно больше, чем в Устьпуровско-Тазовской геоэкологической области (p<0,001). Установлены достоверные взаимосвязи между количеством осадков за холодный, теплый периоды и за год в целом и объемом сточных вод, сброшенных в поверхностные водные объекты (КК=-0,7 при p<0,01; КК=-0,68 при p<0,01 и КК=-0,61 при p<0,01 соответственно), в том числе загрязненной воды (КК=-0,6 при p<0,05; КК=-0,7 при p<0,01 и КК=-0,58 при p<0,51 соответственно). Это обусловлено накоплением атмосферных осадков в СТС в большей степени в нарушенных мерзлотных почвах, чем в естественных. Выявлены корреляционные взаимосвязи между концентрацией в атмосфере оксидов азота и количеством осадков за холодный, теплый периоды, так и за год в целом (КК=-0,53 при p<0,05; КК=-0,67 при p<0,01; КК=-0,53 при p<0,05 соответственно). Это обусловлено растворением загрязняющих веществ в каплях влаги.

### Особенности мерзлотных почв

Важным является наличие взаимосвязей между среднемесячной t° воздуха, среднемесячной суммой осадков, весовой влажностью и мощностью СТС. Исследованы две площадки, одна из которых естественная (подзол иллювиально-железистый тип почвы); другая – нарушенная (торфянисто-подзолистый глеевый тип почвы). Нами выявлен различный характер корреляций между среднемесячной t° воздуха, среднемесячной суммой осадков и весовой влажностью СТС на различной глубине. Так, для естественных мерзлотных почв характерно исчезновение взаимосвязей между анализируемыми параметрами на глубине 0,6 и 0,85 м, что отличает данный тип почвы от нарушенного (КК = 0,94; p<0,01 и КК = 0,9; p<0,05), где корреляции на вышеуказанных глубинах не исчезают и прослеживаются до глубины 1,1 м (КК = 0,8; p<0,05). Это сопровождается накоплением атмосферных осадков в СТС в большей степени в нарушенных мерзлотных почвах, чем в естественных.

### Лабораторно-иммунологические характеристики тундровых ненцев

Учитывая, что иммунная система чутко и одна из самых первых реагирует на изменения в окружающей природной среде, исследованы иммунологические характеристики тундровых ненцев, проживающих в рассматриваемых геоэкологических областях (табл. 2).

Таблица 2. Содержание основных иммунокомпетентных клеток крови у взрослого населения в Устьпуровско-Тазовской и Пуровской геоэкологических областях

Наименование показателя	Устьпуровско-Тазовская n = 150	Пуровская n = 77
Лейкоциты, тыс./мм <sup>3</sup>	7,01 ± 0,19	8,16 ± 0,29**
Базофилы, %	0,13 ± 0,05	1,43 ± 0,27***
Сегментоядерные нейтрофилы, %	47,63 ± 1,07	56,29 ± 0,97***
Моноциты, %	6,24 ± 0,26	5,39 ± 0,21*
Лимфоциты, %	43,43 ± 1,03	33,50 ± 1,08***
IgA, г/л	2,05 ± 0,05	2,73 ± 0,20**
IgM, г/л	1,56 ± 0,03	1,16 ± 0,09***
CD3+ лимфоциты, %	51,91 ± 1,04	55,29 ± 0,87*
CD95+ нейтрофилы, %	1,39 ± 0,20	0,86 ± 0,17*
ИЛ-4, пикогр/мл.	56,87 ± 11,91	12,65 ± 2,39**

\* - достоверность различий (\*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001)

Выявлено, что у тундровых ненцев, проживающих в Пуровской геоэкологической области по сравнению с населением Устьпуровско-Тазовской области достоверно выше содержание в крови лейкоцитов (p<0,01), базофилов (p<0,001), сегментоядерных нейтрофилов (p<0,001), IgA (p<0,01), CD3+ (p<0,05) и снижение моноцитов (p<0,05), лимфоцитов (p<0,001), IgM (p<0,001), CD95+ нейтрофилов (p<0,05) и ИЛ-4 (p<0,01). При этом изменение данных иммунных показателей необходимо соотносить с наличием или отсутствием заболеваний, маркирующих вторичные иммунодефицитные состояния (ВИДС). Установлены достоверные корреляции у практически здорового населения и у лиц с ВИДС между климатическими условиями окружающей среды и иммунными характеристиками. Так, например, обнаружены достоверные корреляционные взаимосвязи у практически здорового населения между t° воздуха и содержанием моноцитов (КК=-0,69; p<0,05), CD95+ нейтрофилов (КК=-0,66; p<0,05), а также с содержанием базофилов (КК=0,67 при p<0,05), IgA (КК=0,59 при p<0,05). Иная ситуация наблюдается у населения с ВИДС, где корреляционные взаимосвязи между содержанием IgA и t° воздуха носят обратнопропорциональный характер (КК=-0,51 при p<0,05). При этом у лиц с ВИДС, в отличие от здорового, выявлены достоверные корреляционные взаимосвязи между t° воздуха и содержанием лейкоцитов в крови (КК=-0,53 при p<0,05).

Таким образом, для успешного решения данного вопроса необходимо учитывать, что Арктическая зона РФ – эта важнейшая сырьевая база страны, территория активного экономического (промышленного) освоения, а

также среда обитания МНС. Поэтому в связи с тем, что многолетнемерзлые породы способны задерживать и аккумулировать загрязняющие вещества и соответственно оказывать влияние на здоровье населения, для Арктической зоны РФ необходимо гигиенические критерии нормирования загрязняющих веществ в окружающей среде пересмотреть в сторону снижения, что необходимо учитывать при дальнейшем развитии геомедицины.

### Выводы

2. Выявлено превышение ПДК в атмосферном воздухе по твердым веществам и оксиду углерода в Пуровской геоэкологической области, а также оксидам азота как в Пуровской, так и в Устьпуровско-Тазовской геоэкологических областях, что сопряжено с формированием ВИДС у тундровых ненцев.
3. Для естественных и нарушенных мерзлотных почв между среднемесячной t° воздуха в зимний период года и весовой влажностью сезонно-талого слоя имеется прямая связь с высоким коэффициентом корреляции. На глубинах 0,6 и 0,85 м у нарушенных мерзлотных почв корреляционные взаимосвязи не исчезают в отличие от естественных почв. Другая особенность нарушенных почв заключается в том, что корреляционные взаимосвязи прослеживаются до глубины 1,1 м, а значит их протаивание происходит на большую глубину, чем в естественных почвах.
4. У тундровых ненцев, проживающих в Устьпуровско-Тазовской области по сравнению с Пуровской геоэкологической областью, чаще регистрируются заболевания, ассоциированные с ВИДС, что выражается соответствующими изменениями лабораторных показателей иммунной системы.

### Литература

- Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции. 2006. Под ред. Н.Г. Москаленко. Институт криосферы Земли СО РАН. 2006. – 357 с.
- Атлас ЯНАО 2004. Гл. редактор С.И. Ларин. Администрация ЯНАО г. Салехард, ТГУ Эколого-географический факультет. – Тюмень: ФГУП «Омская картографическая фабрика», 2004. – 304 с.
- Мельников В.П. 2012. Новейшие явления, концепции, инструментарий как фундамент для старта к новым горизонтам криологии // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 4, с. 3–9.
- Мир географии: География и географы. Природная среда. 1984. Редкол.: Г.И. Рычагов и др. – М., Мысль, 1984 – 367 с.
- Петров С.А., Мамаева Н.Л. 2014. Иммунные характеристики тундровых ненцев в зависимости от климатогеографических условий проживания // Вестник ТГУ, 2014, № 6, с. 187–193.
- Тихонов Д.Г. 2010. Арктическая медицина: Как сохранить здоровье в условиях холодного климата. Под ред. В.А. Галкина, М.И. Томского. – М.: Изд-во ЛКИ, 2010. – 328 с.
- Мамаева N.L., Petrov S.A. 2013. The influence of geo-ecological characteristics on the body condition of the indigenous Yamal population // Tyumen state university herald, 2013, N 6, p.122–127.



## Организация геотехнического мониторинга газотранспортных систем на территории криолитозоны Западной Сибири

В.П.Марахтанов

*Лаборатория геоэкологии Севера географического факультета МГУ*

### Реферат

Рассмотрена проблема оптимизации размещения оборудования для мониторинга технического состояния магистральных газопроводов в криолитозоне. Данную проблему можно решить путем районирования территории по степени опасности для газотранспортных систем. Районирование выполняется на основе использования показателей, отражающих состояние различных элементов газопровода в зависимости от ландшафтных условий. По данной методики получены практически значимые результаты для криолитозоны севера Западной Сибири.

**Ключевые слова:** криолитозона, Западная Сибирь, магистральные газопроводы, ландшафты.

## Organization of Geotechnical Monitoring of Gas Transportation Systems in the Permafrost Zone of Western Siberia

V.P.Marakhtanov

*Laboratory of geoecology of the North geographical faculty of Moscow state University*

### Abstract

The problem of optimizing the placement of equipment for monitoring of technical state of gas pipelines in permafrost was considered. This problem could be solved on the basis of a zoning by hazard for gas transmission systems. The zoning is based on the use of indicators which demonstrated the status of the various elements of the pipeline depending on landscape conditions. This method obtained practically significant results for the permafrost zone of the North of Western Siberia.

**Key Words:** permafrost, Western Siberia, gas pipelines, landscapes

Под геотехническим мониторингом (ГТМ) объектов ОАО «Газпром» понимается «система комплексного контроля, прогнозирования и управления состоянием геотехнических систем с целью обеспечения их надежности на всех стадиях жизненного цикла» [СТО Газпром 2.3.1-071-2006, пункт 3.3]. В данном определении геотехнической системой является инженерный объект совместно с окружающей его природной средой, могущей оказать негативное воздействие на техническое состояние сооружения.

Можно выделить два типа инженерных объектов – площадные и линейные, которые существенно различаются по многообразию форм проявления взаимодействия с окружающей природной средой и, как следствие, по сложности организации на них ГТМ в части, касающейся размещения мониторингового оборудования. Для площадных объектов (отдельно стоящих зданий и сооружений), имеющих относительно небольшие размеры, это решается достаточно просто. Линейные инженерные сооружения (газопроводы, нефтепроводы, железные дороги и т.д.) имеют многокилометровую протяженность и пересекают территории весьма неоднородные в отношении природных факторов, могущих оказывать негативное воздействие на техническое состояние инженерных систем. Это обстоятельство обуславливает необходимость оптимального размещения мониторингового оборудования вдоль линейных

сооружений, которые невозможно (в силу технических и экономических причин) полностью охватить системой постоянных наблюдений. Это особенно актуально для линейных сооружений в области распространения многолетнемерзлых пород (ММП) – криолитозоне, характеризующейся особо сложными условиями строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Для линейной части (ЛЧ) магистральных газопроводов (МГ) данная проблема может решаться с помощью специализированной технологии организации геотехнического мониторинга. В основе данной технологии лежит учет влияния опасных природных процессов (ОПП) на техническое состояние ГС. Предлагаемая структура ГТМ на ГС представлена на рисунке 1.

Организация и функционирование сети ГТМ на ГС выполняются в несколько последовательных стадий (см. рис.1):

- районирование территории по степени опасности для ГС;
- создание на ГС системы динамической оценки и контроля опасных природных процессов (системы ДОК);
  - контроль технического состояния ГС на посту наземных наблюдений за развитием ОПП и динамикой технического состояния газопровода.

Стадии исследований	Объекты исследований	Основные задачи и методы исследований	Результирующие материалы
Районирование территории по степени опасности для ГС	ГС в пределах территории зонально-региональной размерности с распространением ММП	Выделение единиц районирования в ранге урочищ и местностей путем ландшафтно-индикационного дешифрирования аэрофотоснимков и космических снимков	Карта районирования территории по степени опасности для ГС
Создание на ГС системы динамической оценки и контроля (ДОК) опасных природных процессов	Опасные участки ГС	Установление постов наземных наблюдений за развитием опасных процессов и техническим состоянием ГС на основе дешифрирования аэрофотоснимков, маршрутных обследований трассы ГС и анализа проектно-изыскательской и эксплуатационной документации	Геоинформационная база данных системы ДОК с картой-схемой размещения постов наземных наблюдений за ОПП и техническим состоянием ГС
Контроль технического состояния ГС на посту наземных наблюдений	Пост наземных наблюдений за развитием опасных процессов и динамикой технического состояния ГС	Определение динамики технического состояния ГС с выявлением недопустимых отклонений от норм с применением современных методов диагностики	Рекомендации по предотвращению развития дефектов технического состояния ГС и возникновения аварийных ситуаций

Рис. 1. Структура геотехнического мониторинга на газотранспортной системе

Каждая стадия характеризуется определенными объектами, основными задачами и методами и результирующими материалами исследований (см. рис.1). Объект исследования каждой последующей стадии устанавливается на основании анализа результирующих материалов предыдущей.

Так, сначала на ГТС, размещенной на карте районирования территории по степени опасности, выделяются участки трассы той или иной степени опасности, на которых создается система ДОК (см. рис.1). При создании системы ДОК учитывается степень опасности того или иного участка трассы ГС – безопасные участки не исследуются. Затем по геоинформационной базе данных системы ДОК (см. рис.1) определяются посты наземных наблюдений за развитием ОПП и техническим состоянием ГС, на которых размещается мониторинговое оборудование. При этом в первую очередь оборудование устанавливается на самых опасных участках трассы ГС. Такая технология позволяет оптимизировать организацию сети ГТМ на ГС в пространственно-временном аспекте.

При районировании территории по степени опасности для ГС последовательно выполняется следующий комплекс работ [Р Газпром 2-2.3-791-2014]:

- составление карты инженерно-геокриологического районирования территории расположения ГС, на которой выделяются инженерно-геокриологические участки разного типа;
- установление показателей оценки степени динамической опасности для ГС;

- определение в каждом таксоне инженерно-геокриологического районирования значений этих показателей;
- выделение группировок таксонов с близкими значениями показателей и отнесение их к местности с определенной категорией опасности;
- составление карты районирования территории по степени опасности для ГС.

Подобный подход к организации ГТМ на ГС можно предложить для территории криолитозоны Севера Западной Сибири в пределах Надым-Пур-Тазовского региона, где расположена основная часть газовых месторождений и связующая их сеть газотранспортных систем.

На территории Надым-Пур-Тазовского региона выделяются 24 типа урочищ [Марахтанов и др., 2012], представленных ниже.

**Лесные урочища.** 1.Сомкнутые елово-березово-лиственничные леса пойм. 2.Березово-лиственничные редкостойные леса приречий. 3.Березово-лиственничные пятнисто-медальонные лишайниковые редины на пологих увалах и холмах. 4.Лиственничные пятнисто-медальонные редины на слабодренированных мочажинах. 5.Лиственничные редины на полигональных поверхностях склонов

**Тундровые урочища.** 6.Кустарничково-мохово-лишайниковая, мелкопочковатая, с пятнами-медальонами тундра на хорошо дренированных холмах. 7.Кустарничково-мохово-лишайниковые тундра на плоских, относительно хорошо дренированных поверхностях междуречий. 8.Мелкобугристая



кустарничково-мохово-лишайниковая тундра на вогнутых слабодренированных поверхностях междуречий. 9. Кустарничково-мохово-лишайниковая, полигональная, с пятнами-медальонами тундра на плоских и наклонных слабо дренированных поверхностях междуречий. 10. Травяно-кустарничково-моховая кочковатая тундра на плоских, слабо дренированных поверхностях пойм и низких речных террас. 11. Кустарниковая тундра по бортам хасыреев, тыловых частей террас, логам и узким речным долинам, у подножья склонов.

**Болотные урочища.** 12. Травяно-моховые обводненные (топяные) плоские болота. 13. Комплексные болота (кочковатые осоково-сфагновые в сочетании с кустарничково-травяно-лишайниковыми тундрами и фрагментами торфяников). 14. Грядово-мочажинные болота.

**Торфяниковые урочища.** 15. Мелкобугорковые торфяники с травяно-моховыми мочажинами. 16. Низкие плоские торфяники с травяно-моховыми мочажинами. 17. Плоскобугристые заозеренные торфяники (мощностью до 4 м), с травяно-моховыми мочажинами. 18. Полигональные торфяники с жильными льдами. 19. Выпуклобугристые торфяники.

**Луговые урочища.** 20. Мокрые травянистые луга в днищах хасыреев.

**Криогенные урочища.** 21. Бугры и гряды мерзлотного пучения, кустарничково-лишайниковые.

**Комплексные урочища.** 22. Осоково-мохово-кустарничково-кустарниковые с фрагментами торфяников в ложбинах стока и логах. 23. Березово-лиственничные редколесья с кустарниками, фрагментами болот и торфяников в логах и мелких речных долинах.

**Без растительного покрова.** 24. Незадернованные песчаные прирусловые отмели крупных рек, котловины выдувания на холмах, бровках склонов и речных террасах, развеванные техногенные отсыпки.

В урочищах разного типа развиваются различные комплексы ОПП, оказывающих негативное воздействие на техническое состояние ГС (см. табл. 1).

Таблица 1. Опасные для газотранспортных систем процессы в урочищах Надым-Пур-Тазовского региона (отмечены +)

Номера урочищ	Процессы							
	Морозобойное растрескивание	Пучение сезонное	Пучение многолетнее	Термокарст	Заболачивание и обводнение	Термоэрозия	Термоабразия	Образование наледей
1								
2								
3								
4								
5	+							
6								
7								
8		+	+	+	+			

9	+					+		
10				+	+			
11						+		
12			+		+			
13			+	+	+	+		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
14			+			+	+	
15					+		+	+
16					+	+		
17					+		+	+
18					+		+	
19			+	+	+			
20			+	+				
21			+	+	+			
22			+			+	+	+
23			+			+	+	+
24								

Под воздействием ОПП возникают дефекты технического состояния различных элементов конструкции линейной части ГС: трубы, изоляционного покрытия, грунтового обвалования. Значения показателей, характеризующих степень развития дефектов, используются для оценки степени опасности.

Значимым показателем для оценки дефектности обвалования газопровода в каком-либо типе урочища является доля участков с обнаженной трубой (разрушенным обвалованием)  $K_T$ . Величина этого параметра определяется по формуле:

$$K_T = \frac{\sum L'_i}{\sum L_i} 100\% \quad (1)$$

где  $\sum L'_i$  – суммарная протяженность вдоль трассы газопровода участков с разрушенным обвалованием (оголенной трубой) в пределах урочища  $i$ -го типа,  $\sum L_i$  – суммарная протяженность вдоль трассы газопровода урочищ  $i$ -го типа.

В пределах участков с отсутствующим обвалованием выявляются дефекты других элементов конструкции трубопровода – изоляционного покрытия, металла (коррозии) трубы и ее пространственного положения (отклонение от проектного). Эти дефекты, так же, как и обвалование, могут быть связаны с воздействием ОПП.

Возможные виды дефектов на участках с отсутствующим обвалованием приведены в таблице 2. Комбинации дефектов различных конструктивных элементов газопровода (по три разных показателя) указанных в табл. 2), характеризуют его техническое состояние в каждом конкретном месте (тип дефектов).

Дефекты технического состояния линейной части газопровода в различных урочищах, типичных для Надым-Пур-Тазовского региона исследовались автором на протяжении ряда лет на газопроводах большого диаметра межпромыслового коллектора (МПК) газового месторождения Медвежье. По сочетанию дефектов технического состояния газопроводов МПК были выделены четыре группировки урочищ (местности), которым присвоена разная степень опасности для ГС. При оценке опасности местности ранжировались с учетом совокупности дефектов обвалования (отсутствие), трубы (отклонение от проектного положения и коррозия

металла) и изоляционного покрытия (см. табл. 2). Приоритет отдавался дефектам пространственного положения трубы как фактору, представляющему наибольшую опасность. Далее в порядке убывания значимости учитывались:

- - коррозия металла трубы (через процент в урочищах участков трассы газопроводов МПК с язвенной коррозией –  $M_2$ ;
- - состояние изоляционного покрытия (через процент в урочищах участков трассы газопроводов МПК с задирами, гофрами и отслоениями –  $I_3$ ;
- - процент участков трассы газопроводов МПК с отсутствием обвалования -  $K_t$ .

Таблица 2. Классификация дефектов трубопровода (на участках с отсутствующим обвалованием)

Изоляционное покрытие – $I$			Металл трубопровода – $M$			Пространственное положение трубопровода – $П$		
норма, или отдельные задиры краев	задиры, гофры, отслоения	задиры, гофры, отслоения, местами отсутствует	норма	поверхностная коррозия	каверны	норма	просвет под трубой	просвет и изгиб трубы
$I_1$	$I_2$	$I_3$	$M_0$	$M_1$	$M_2$	$П_0$	$П_1$	$П_2$

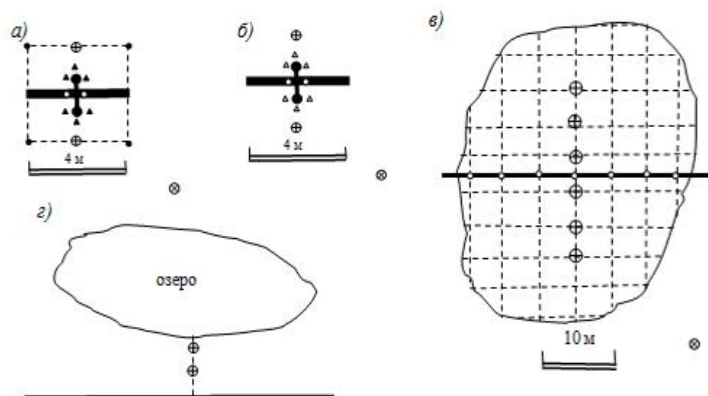
В результате была создана легенда карты районирования территорий Надым-Пур-Тазовского региона по степени опасности природных процессов для газотранспортных систем, представленная в таблице 3.

Таблица 3. Легенда карты районирования по степени опасности для газотранспортных систем Надым-Пур-Тазовского региона

Категории местностей, номера входящих в их состав типов урочищ, рекомендуемые цвета для отображения на карте районирования и возможный процент развития в них различных дефектов технического состояния газотранспортных систем			Дефекты технического состояния элементов конструкции газотранспортных систем
малоопасные 3,6,7,10,15,16	опасные 5,8,12,14,17,18, 20,22,23	весьма опасные 9,13	
1,4	6,2	17,6	Отклонение трубы от проектного положения (показатель $П$ )
4,1	12,0	11,8	Язвенная коррозия металла трубы (показатель $M$ )
8,9	21,5	23,9	Изоляция с гофрами, отслоениями, местами отсутствует (показатель $I$ )
19,0	31,7	63,5	Обвалование размыто, труба обнажена (показатель $O$ )

С помощью таблицы 3 карта ландшафтного районирования территории расположения ГС трансформируется в карту районирования территории по степени опасности природных процессов для газотранспортных систем - путем объединения урочищ в местности с соответствующей категорией опасности.

Система динамической оценки и контроля ОПП (см. рис. 1) создается на опасных участках трассы ГС, отображенных на карте районирования по степени опасности. Система представляет собой сеть наземных постов наблюдений за развитием ОПП в полосе трассы ГС и для контроля технического состояния газопровода на участках развития ОПП, контактирующих с сооружением (см. рис. 2).



Посты наблюдений на участках развития:

- а) сезонного пучения вокруг свайного основания газопровода;  
б) термокарста вокруг свайного основания газопровода;  
в) многолетнего пучения или термокарста вокруг газопровода;  
г) вблизи водоемов с термообразной берегов.

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- ⊕ термометрическая скважина ⊙ противопучинный репер ▲ геодезическая грунтовая марка на участках сезонного пучения ▲ геодезическая грунтовая марка на участках термокарста  
○ деформационная марка ● точки определения глубины сезонного промерзания  
— газопровод ⊕ свайное основание газопровода - - - - линия створа

Рис. 2. Схема размещения оборудования на постах наземных наблюдений сети ГТМ.

Сначала посты наземных наблюдений организуются на участках трассы ГС в пределах весьма опасных местностей, затем в опасных и в последнюю очередь – в малоопасных.

## Литература

- Марахтанов В.П., Великоцкий М.А., Егурцов С.А. 2012. Оценка влияния ландшафтных условий на техническое состояние газопроводов Севера // Нефтегазовое дело. 2012. № 4. С. 81- 92.
- Р Газпром 2-2.3-791-2014 «Районирование территории по степени динамической опасности природных процессов. Основные положения». – М.: ИРЦ Газпром. 2015 - 47 с.
- СТО Газпром 2-3.1-072-2006 «Регламент на проведение геотехнического мониторинга объектов газового комплекса в криолитозоне». – М.: ИРЦ Газпром. 2006 - 61 с.



## Трансформация экосистем бугристых торфяников в результате прокладки и эксплуатации «теплых» газопроводов в условиях островной криолитозоны

Г.В.Матышак

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

О.Ю.Гончарова, М.О.Тархов

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ф-т почвоведения, Москва, Россия*

### Реферат

Произведена оценка влияния строительства и эксплуатации газопроводов на свойства почв и параметры функционирования бугристых торфяников островной криолитозоны северной тайги Западной Сибири. Показано, что строительство и эксплуатация «теплых» газопроводов в условиях криолитозоны оказывает значительный постоянный отепляющий эффект, многолетнемерзлые породы деградируют на значительную глубину и ширину вдоль трассы газопровода. Результатом является быстрая адаптация и трансформация нарушенных экосистем: активная экспансия древесной растительности вдоль газопровода на север, увеличение биомассы растений, активизация трансформации органического вещества почв, изменение их свойств и биологической активности. В несколько раз увеличивается эмиссия парниковых газов ( $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$ ). Существенное изменение параметров функционирования нарушенных территорий нельзя недооценивать с точки зрения глобальной функции почвенного покрова в процессах регулирования стока и эмиссии парниковых газов наземными экосистемами.

**Ключевые слова:** биологическая активность почв; бугристые торфяники; газопровод; Западная Сибирь; парниковые газы; температурный режим

## Transformation of Peatland Ecosystems During the Laying and Operation of the "Warm" Gas Pipeline in Sporadic Permafrost

G.V.Matyshak

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

O.Yu.Goncharova, M.O.Tarhov

*Lomonosov Moscow State University, Soil Science Department, Moscow, Russia*

### Abstract

The impact of construction and operation of gas pipelines on soil properties and parameters of the peatlands functioning in West Siberia northern taiga (sporadic permafrost area) were studied. It was shown that the construction and operation of "warm" gas pipelines in the permafrost conditions has a significant permanent warming effect. Permafrost were degraded to a considerable depth and width along the gas pipeline. The result was a fast adaptation and transformation of damaged ecosystems: active expansion of woody vegetation along the pipeline to the north, the increase in plant biomass, activation of the soil organic matter transformation, change soil properties and biological activity. Greenhouse gas emission ( $\text{CH}_4$  and  $\text{CO}_2$ ) was increased by several times. A significant change in parameters of disturbed areas functioning should not be underestimated in terms of the global function of soil in the process of regulation of greenhouse gases emission by terrestrial ecosystems.

**Key Words:** the soil biological activity; peatland; gas pipeline; West Siberia; greenhouse gases; temperature regime

### Введение

В настоящее время происходит активное освоение криолитозоны России, в первую очередь севера Западной Сибири. Высокая уязвимость экосистем, формирующихся в зоне распространения многолетнемерзлых пород, обуславливает необходимость детального изучения, как естественных экосистем, так и последствий их нарушений. Протяженность единой системы газоснабжения (ЕСГ) РФ составляет более 170 тысяч километров магистральных газопроводов, из которых более 10% проходят по территории криолитозоны [Корниенко и др. 2005]. Одним из распространенных способов строительства газопроводов является его подземная укладка, при которой в зону

активных механических нарушений при строительстве одного трубопровода попадает полоса экосистем, шириной 20-50 метров на всей протяженности газопровода. Помимо физической деградации растительного и почвенного покровов происходит значительное изменение гидротермического режима функционирования экосистем в результате изменения условий дренирования, рельефа и типа поверхности, свойств почв. Усложняющим фактором является и непосредственное тепловое влияние трубы, в случае если по ней транспортируется «теплый» газ. Так, наблюдения Харионовского В.В. показали, что в первые же годы эксплуатации газопровода Надым-Пунга на участках бугристых торфяников сформировался ореол оттаивания многолетнемерзлых пород (ММП) до 6 метров глубиной

[2000]. Таким образом, на значительной по площади территории криолитозоны наблюдаются серьезные изменения параметров функционирования экосистем, приводящие к активной трансформации растительного и почвенного покрова. Так по данным Корниенко С.Г. за период освоения Уренгойского месторождения площадь территорий с трансформированной растительностью занимает не менее 14% (10 тыс. км<sup>2</sup>) территории Тазовского полуострова, при этом треть этих площадей приходится на объекты строительства газотранспортной сети [Корниенко и др. 2005]. Целью данной работы была оценка влияния строительства и эксплуатации газопроводов на функционирование бугристых торфяников островной криолитозоны северной тайги Западной Сибири.

### Результаты и обсуждения

Полевые исследования проведены на участке трассы газопровода Надым-Пунга (8-9 км), в 40 км на юго-запад от г. Надым. В течение 2011-2014 гг. проводились наблюдения за мощностью сезонно-талого слоя (СТС), влажностью и температурой почв (поверхность почв и 20 см), а также за потоками углекислого газа в почвах нарушенных бугристых торфяников. Для этого были организованы стационарные площадки наблюдений в трех наиболее типичных ландшафтах, отличающихся по типу растительного и почвенного покрова, а также наличию и уровню залегания ММП. Наблюдения проводились на трех ненарушенных (контрольных) участках (100 м от трубы): плоскобугристый торфяник (почва – торфяно-криозем потечно-гумусовый, СТС около 50 см), крупнобугристый торфяник (почва – торфяная олиготрофная деструктивная, СТС около 60 см), лесная экосистема (почва – подзол иллювиально-железистый, ММП глубже 20 м). В аналогичных ландшафтах исследовались три нарушенных участка вдоль газопровода (5 м от трубы). Также проводились разовые наблюдения за исследуемыми параметрами непосредственно на насыпи над трубой и на различном удалении от газопровода: 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 м (линии 1, 2) (рис. 1). В лабораторных условиях изучены основные свойства почв, а также такие динамические параметры, как микробиологическая активность и содержание лабильного органического вещества.

Территория, дважды подвергалась воздействию: в 1977 году при первоначальной прокладке газопровода и в 2004 году при ремонте трубы. Ширина зоны механического нарушения вдоль трубы варьирует от 10 до 30 м. Наиболее типичным результатом явилось резкое изменение режима увлажнения торфяников и образование в результате этого как подтопленных участков, так и развития хорошо дренированных экосистем. При этом для почв нарушенных участков бугристых торфяников характерно полное или частичное отсутствие органогенных горизонтов, погребение органогенных горизонтов, нарушение микрорельефа поверхности, сильная турбириванность. Почвы представляют собой смесь торфяных и песчаных горизонтов. В настоящий момент в условиях хорошего дренажа нарушенные участки активно зарастают

растительными сообществами, не характерными для бугристых торфяников. Так, наблюдается активная экспансия древесных видов (Берёза извилистая и др.). При этом для характерных видов, например для карликовой березы, наблюдается значительное увеличение площади листовой поверхности.

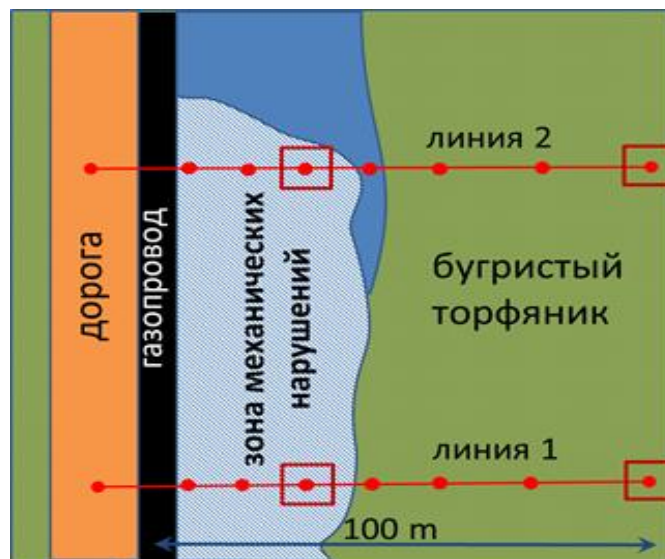


Рис.1 Схема точек опробования

Для участков бугристых торфяников установлено значительное увеличение глубины протаивания нарушенных территорий, превышающее 6 м непосредственно у трубы газопровода. При этом влияние газопровода на глубину протаивания почв сказывается значительно дальше полосы механического нарушения, вплоть до расстояния 100 м от трубы. Мощность СТС торфяников вблизи газопровода отличается от контрольных участков в среднем на 50-100 см. Это подтверждается данными среднесуточных температур и влажности за август 2013 вдоль линий от трубы к фоновым участкам. Так установлено, что значительная разница в этих показателях (3-5°С для температуры на глубине 20 см, 15-20% для объемной влажности) наблюдается на расстояниях до 50 метров от газопровода. Почвы нарушенных участков существенно теплее. Среднегодовые температуры почвы на глубине 20 см вблизи газопровода в 2-3 раза выше среднегодовых температур ненарушенных почв. Летние температуры нарушенного участка в среднем выше на 5-10°С. Нарушенные почвы на 2-3 месяца дольше находятся в незамерзшем состоянии. Связано это с отепляющим влиянием газопровода, перераспределением осадков, снижением влияния ММП, отсутствием органических (торфяных) горизонтов на поверхности почв.

Основные изменения химических показателей нарушенных почв связаны с полным или частичным уничтожением органических горизонтов или подмешиванием к ним минеральной части. Можно отметить, что на изученные экосистемы нарушения воздействуют приблизительно одинаково – происходит увеличение зольности торфяных горизонтов, снижение



содержания общего углерода и увеличение содержания лабильного, некоторое увеличение рН торфяных горизонтов. В целом при условии улучшения дренажа изменение этих параметров способствует увеличению биологической активности почв и активизации трансформации органического вещества.

Разница в температурном режиме существенно сказывается на показателях биологической активности почв. Величины эмиссии углекислого газа ненарушенными почвами бугристых торфяников низкие (80-100 мгСО<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>ч), что свидетельствует об их невысокой биологической активности. При этом на нарушенных участках вдоль газопровода величины эмиссии СО<sub>2</sub> в 3-6 раз превышает таковую ненарушенными почвами, достигая значений 500-600 мгСО<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup> ч). Концентрация СО<sub>2</sub> в профиле нарушенной почвы также оказалась в 1,5-2 раза выше. При этом повышенные значения эмиссии СО<sub>2</sub> наблюдаются на расстоянии до 50 м от газопровода. Относительно высокие величины продукции углекислого газа на нарушенных участках можно объяснить их лучшей теплообеспеченностью, что повышает их биологическую активность. Также активной минерализации торфа способствует наличие минеральных примесей и снижение влажности, характерные для нарушенных почв вдоль газопровода. В случае подтопления территории наблюдается значительное увеличение эмиссии метана, превышающее фоновую (для термокарстовых западин) в 5-10 раз.

Таким образом, газопровод является в некотором роде «радиатором», оказывающим круглогодичное отепляющее воздействие на окружающие экосистемы, которое выходит далеко за границы зоны механических нарушений. Уже спустя 10 лет после нарушений наблюдается значительная трансформация экосистем. Большая протяженность сети газопроводов в криолитозоне обуславливает необходимость учета их пространственных и временных воздействий на уязвимые экосистемы Севера, как для проведения балансовых исследований, так и для минимизации этих воздействий в будущем.

## Выводы

1. Нарушения почвенного покрова, вызванные прокладкой и функционированием линейных сооружений в условиях криолитозоны сопровождаются не только изменением морфологического облика почв и их физико-химических свойств, но и существенным изменением режимов их функционирования

2. Строительство и эксплуатация теплых газопроводов в условиях криолитозоны оказывает значительный постоянный отепляющий эффект, многолетнемерзлые породы деградируют на значительную глубину и ширину вдоль трассы газопровода.

3. Результатом является быстрая адаптация и трансформация нарушенных экосистем: активная экспансия древесной растительности вдоль газопровода на север, увеличение биомассы растений, активизация трансформации органического вещества почв, изменение их свойств и биологической активности. В несколько раз увеличивается эмиссия парниковых газов (СН<sub>4</sub> и СО<sub>2</sub>).

4. Ширина воздействия газопровода достигает 100 метров в каждую сторону. Таким образом, вдоль системы газопроводов на Севере России в зоне воздействия находятся сотни квадратных километров криогенных ландшафтов. Существенное изменение параметров функционирования нарушенных территорий нельзя недооценивать с точки зрения глобальной функции почвенного покрова в процессах регулирования стока и эмиссии парниковых газов наземными экосистемами, а также при проведении балансовых исследований.

## Литература

- Корниенко С.Г., Якубсон К.И., Масленников В.В. 2005. Изучение трансформаций природных комплексов нефтегазоносных областей криолитозоны по данным космической съемки. // Наука и техника в газовой промышленности, №3: 71-77.
- Харионовский В.В. 2000. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. – М.: Недра, 2000. - 467с.



## Особенности мерзлотных инженерно-геологических изысканий в районах широкого распространения макроледяных тел повторно-жильного генезиса, на примере сельского поселения Сеяха

А.Г.Матюхин

ОАО «Фундаментпроект», Москва

Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Представлены результаты инженерно-геологических изысканий в сложных геокриологических условиях ледового комплекса. Оценена пространственная изменчивость криогенного строения и льдистости пород, размеры и пространственное расположение залежей подземного льда на исследуемой территории. Рассчитаны объемная суммарная льдистость и макрольдистость грунтового массива. Показаны изменения мерзлотных условий под воздействием различных факторов.

**Ключевые слова:** геокриологические условия, мерзлотные инженерно-геологические изыскания, ледовый комплекс, объемная макрольдистость грунтового массива, полигонально-жильные льды

## Engineering-Geocryological Survey in Areas of Wide Spread Macro Ice Wedge Bodies as in the Case of Seyakha Settlement

A.G.Matyukhin

Fundamentproekt Open Joint-Stock Company, Moscow, Russia

Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

The results of engineering-geocryological survey in complicated conditions of the ice complex at the investigated area are presented in the article. The spatial variability of cryogenic structure and ice content in the soils as well as size and location of ice wedge bodies were estimated in this article. Besides that, the volumetric total ice content and macro ice content of the soil were calculated. Changes of cryogenic conditions under the influence of various factors were described too.

**Key Words:** geocryogenic conditions, engineering-geocryological survey, ice complex, the volumetric ice content, ice wedges.

### Введение

Полигонально-жильные структуры широко распространены на севере России и хорошо диагностируются по полигональному микрорельефу на поверхности. Они могут иметь разнообразный рисунок в плане – от правильных квадратов до сложных многоугольников.

Вследствие особенностей пространственного расположения, а также высокого содержания льда в составе (в некоторых случаях объем льда может достигать 80-90 %), полигонально-жильные льды (ПЖЛ) представляют существенную опасность при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Данные льды имеют форму субвертикальных клиньев, расположенных по сетке, образуя в плане решетку.

В данной связи, проведение инженерно-геологических изысканий усложняется и требует проведения дополнительных мероприятий.

Вместе с тем, выявление ПЖЛ на первоначальном этапе, в особенности при отсутствии прямых и косвенных признаков их распространения, представляет собой большую методическую трудность для инженерно-

геологических изысканий. Такие случаи характерны для ПЖЛ, находящихся в стадии захоронения (консервации). Именно, с такой проблемой столкнулись сотрудники ОАО «Фундаментпроект» при проведении изыскательских работ в сельском поселении Сеяха.

Село Сеяха находится на восточном побережье полуострова Ямал в устье реки Сеяха (Зеленая), впадающей в Обскую губу.

Территория исследования расположена в пределах переработанной эрозионными процессами второй лагунно-морской террасы, сформировавшейся в каргинско-сартановское время. Рельеф поверхности - пологоволнистый, местами пологохолмистый, с общим уклоном от центра к периферии (2-5°). Абсолютные отметки высот колеблются от 7 до 24 м.

Северо-западная граница района исследования проходит по бровке коренного эрозионного склона (высота - около 10 м; крутизна - около 30°) долины р. Сеяхи, обнаженного и сильно изрезанного овражно-балочной сетью. С запада и юга территория ограничена эрозионным склоном речной долины правого притока реки Сеяхи, а на юго-востоке и востоке – крупным термоэрозионным оврагом.

Таким образом, основная часть территории лежит в пределах междуречья, являющегося останцом второй лагунно-морской террасы. Переход от междуречья к эрозионным формам разных рангов – плавный.

В геологическом строении территорию изысканий слагают отложения ледового комплекса (ЛК) - высокольдистой мерзлой толщи, включающей полигональную решетку мощных ПЖЛ.

Исходя из физико-географического положения села Сеяха, можно сделать вывод, что данная территория является весьма удачной для проведения детального анализа геокриологического строения толщи и условий ее формирования.

Таким образом, цель нашего исследования - рассмотрение геокриологических условий и анализ техногенного воздействия в пределах с. Сеяха.

### **Климатические условия района исследования**

Климат исследуемого района – субарктический. На него оказывают влияние теплые воздушные массы, идущие с Атлантического океана, и холодные, поступающие из полярных регионов. Равнинный характер рельефа территории и открытость с севера и юга способствует глубокому проникновению в ее пределы воздушных масс как с севера, так и с юга.

Среднегодовая температура воздуха отрицательная и составляет  $-10...-11^{\circ}\text{C}$ , самым холодным месяцем является январь (мин. темп.  $-40...-45^{\circ}\text{C}$ ).

Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца января - минус  $25^{\circ}\text{C}$ , а самых жарких июля и августа составляет  $+4...+6^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный максимум приходится на июнь-август  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Среднегодовая скорость ветра  $6,8$  м/с, средняя за январь –  $7,0$  м/с, а средняя в июле –  $6$  м/с. Повторяемость скоростей ветра более  $10$  и  $12$  м/с довольно высока. Скорости ветра более  $30$  м/с наблюдаются очень редко.

В июле преобладают северный и северо-восточный ветры. В сентябре увеличивается повторяемость ветров южных и западных направлений, происходит перестройка барического поля на зимний режим, и в октябре преобладающим становится ветер западных румбов, характерный для зимнего режима циркуляции.

Среднегодовое количество осадков в районе работ составляет  $300 - 350$  мм, из них от  $50$  % до  $70$  % выпадает в теплый период года, хотя число дней с осадками в зимний период больше, чем летом.

Туманы в июле и августе имеют повторяемость в северной части района  $10 - 15$  %, в сентябре повторяемость туманов уменьшается до  $6-8$  % [Руководство по... 2008].

### **Методика исследований**

В связи с особенностями геологического строения к мерзлотным инженерно-геологическим изысканиям предъявляются особые требования. При изысканиях необходимо оценить пространственную изменчивость

криогенного строения и льдистости пород, в частности установить размеры и пространственное расположение залежей подземного льда на исследуемой территории. Основное внимание обращается на взаимоотношение ПЖЛ с вмещающими и перекрывающими отложениями, производится определение их гранулометрического и геохимического состава, генезиса, а также строения и морфологии самих ледяных тел.

Сеяхинская толща, является одной из наиболее изученных среди криолитологических разрезов Сибири. На предполевом этапе был произведен анализ архивных материалов, а также литературных источников. В связи с этим, важно отметить результаты работ Ю.К. Васильчука (1984; 2000; 2006), исследовавшего естественное береговое обнажение в  $2$  км восточнее с. Сеяха со стороны Обской губы. Полученные в ходе изысканий данные о геологическом строении четко коррелируются с материалами Ю.К. Васильчука.

Для изучения инженерно-геокриологического разреза грунтов, их особенностей залегания, криогенного строения и изучения температурного режима грунтов было произведено бурение инженерно-геологических скважин (более  $100$  скв.).

### **Обсуждение результатов**

Было выявлено, что отложения ЛК имеют значительную ( $20,0-25,0$  м) мощность. В разрезе четко выделяется две толщи, промерзавшие одновременно с осадконакоплением и образованные литологически однородными породами - гранулометрический состав толщ практически полностью идентичен и имеет преимущественно пылеватый состав (пылеватые фракции составляют более  $70\%$ ). Нижняя толща представлена заторфованными сильнольдистыми ( $I_i=0,45$  д.е. при  $W_{tot}=75-90$  %) легкими пылеватыми суглинками, имеющими поясковую криогенную текстуру. Выше по разрезу она переходит в незаторфованные льдистые ( $I_i=0,35$  д.е. при  $W_{tot}=45-60$  %) суглинки. Особенностью последних является преобладание микро- и тонкошлифовых частослоистых криогенных текстур.

Выше по разрезу залегают маломощные пачки (до  $2$  м) пылеватого песка, перекрывающиеся легкими пылеватыми суглинками.

В данных отложениях четко выделяются две генерации ледяных жил: первая, представленная мощными (ср. ширина жил в верхней части до  $3,5$  м; ср. вертикальная мощность – до  $13,0$  м) жилами, расположенная в нижней заторфованной толще, и вторая, представленная более мелкими (ср. ширина жил в верхней части от  $1,0$  до  $1,5$  м; ср. вертикальная мощность - до  $8,5$  м) жилами, которые располагаются в вышележащих отложениях. По материалам Ю. К. Васильчука [1984], исследовавшего данную толщу в береговом обнажении, вершины вышележащих более мелких жил, располагаются на разных глубинах, как в самом низу, так и вблизи кровли заторфованных суглинков, что указывает на синхронный рост жил и накопление отложений.

Геохимический анализ отложений показывает, что они не засолены. Общее количество воднорастворимых солей

колеблется от 0,035 до 0,085 %. В ионном составе водных вытяжек характерно низкое содержание хлор-иона и примерно одинаковое содержание гидрокарбонат-иона и сульфат-иона среди анионов. В составе катионов преобладают ионы магния и натрия. Максимальное содержание воднорастворимых солей в разрезе отложений относится к тонкодисперсным породам (в песчаных и супесчаных отложениях - от 0,035 до 0,045 %; в суглинистых - от 0,052 до 0,085 %).

Таким образом, относительно низкое содержание катионов натрия и хлора в составе водорастворимых солей, указывает на формирование осадков в континентальных условиях.

В ходе исследования широко использовались методы дистанционного зондирования Земли. Был произведен анализ космических снимков, сопоставление их с топографией района, изучение геоморфологических и геоботанических особенностей территории.

На основании проведенных работ, было выявлено, что полигонально-жильные структуры распространены повсеместно и хорошо диагностируются на космических снимках высокого разрешения по полигональному микрорельефу на поверхности (за исключением участков жилой застройки).

Данные признаки существенно облегчают изыскания и позволяют получить не только качественную, но и количественную характеристики, а именно, оценить объемную суммарную льдистость массива (без учета сезонно-талого слоя). Она складывается из объемной макрольдистости (отношения объема крупных залежей подземного льда – в нашем случае объема ПЖЛ - к объему всего многолетнемерзлого массива) и объемной микрольдистости (отношения текстурообразующего льда – сегрегационного и льда-цемента – к объему многолетнемерзлых пород без учета крупных залежей).

Для расчета объемной макрольдистости был использован метод Ш.Ш. Гасанова [1969], основанный на использовании в исходных данных непосредственных замеров ширины жил по верху и расстояний между узлами пересечения осей простирания жил. Для расчета объемной макрольдистости для каждой генерации ледяных жил были выделены характерные элементарные жильно-полигональные блоки (ЭЖБ), представляющие собой ядро полигона, ограниченного со всех сторон полушириной ледяных жил прямоугольного сечения. Выбор данного сечения связан с генезисом данных отложений – сингенетические жилы имеют в вертикальном поперечном сечении более или менее правильную призматическую форму с извилистыми боковыми контактами. В связи с этим, распределение макрольдистости в разрезах будет равномерным по глубине.

Объемная микрольдистость была рассчитана согласно формулам приведенным в ГОСТ 25100 [2011]. Ширина жил по верху и расстояние между узлами пересечения простирания жил были получены по результатам натурных и дистанционных измерений. Для оценки влияния морфометрии жилы на итоговые значения объемной макрольдистости, были приняты интервалы

изменения ширины ледяных жил по верху: для нижней генерации от 3,0 до 3,5 м; для верхней – от 1,0 до 1,5 м.

По результатам расчетов объемная макрольдистость грунтового массива за счет ПЖЛ составила для нижней толщи 0,36 д.е., а для верхней - 0,18 д.е. Объемная микрольдистость колеблется приблизительно в одних пределах - около 0,55 д.е.

Как видно из расчетов, объемная льдистость за счет ПЖЛ для нижней толщи достигает высоких значений и составляет примерно 40 % от суммарной, а для верхней чуть меньше - 25 %. Данная количественная оценка, позволяет сделать следующие выводы:

- высокие значения объемной суммарной льдистости имеют отложения вскрывающиеся в пределах эрозионных склонов, в связи с высоким (глубже 4,0 м) расположением верхней границы заторфованных сильнольдистых отложений;
- поверхность междуречья имеет более низкие значения, за счет более низкого расположения (глубже 10 м) сильнольдистой торфяно-минеральной толщи.

### Техногенез и криогенные процессы

Жилая застройка накладывает существенный отпечаток на многолетнемерзлые породы (ММП) и может приводить к необратимому изменению их свойств. Техногенез является причиной изменения среднегодовой температуры ММП. По данным натурных наблюдений, на некоторых участках происходит повышение температуры грунтов (на междуречье —  $-4,0...-5,5^{\circ}\text{C}$ ; на эрозионных склонах —  $-2,5...-4,5^{\circ}\text{C}$ ) на  $3...4^{\circ}\text{C}$ , до критических  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Данные изменения вызваны комплексом факторов, основными из которых являются: изменение режима стока грунтовых вод, многочисленные нарушения в эксплуатации зданий, механизированное перераспределение снежных отложений, частичное или полное удаление напочвенных растительных покровов.

Повышение температуры грунтов приводит к уменьшению несущей способности многолетнемерзлых грунтов оснований сооружений и, соответственно, как итоговый результат - к деформациям.

Нарушение естественного поверхностного стока, приводящее к последующему заболачиванию территории, в связи с неглубоким залеганием ПЖЛ от поверхности (с глубины 1,0-1,5 м) нередко вызывает активизацию поверхностного термокарста, а также процессы площадной и линейной эрозии. Помимо этого, на эрозионных склонах интенсивно протекают солифлюкционные процессы.

Для реки Сеяха характерна интенсивная речная боковая эрозия, на фоне тектонического опускания территории, а также склоновые процессы в пределах эрозионных склонов. В связи с этим, характерно отступление коренного эрозионного склона в юго-восточном направлении. Для оценки динамики береговой линии, ее пространственных и временных закономерностей, а также факторов ее развития, было произведено сравнение разновременных данных топографической съемки – 1977 и 2013 гг.



Измерение скорости отступления берега производилось в специально выбранных створах, на которых выделялись точки положения бровки коренного эрозионного склона в 1977 и 2013 гг. Расстояние между такими точками составило величину, на которую отступил берег за временной интервал в 36 лет.

Исследования показали, что скорость отступления берега изменяется от 0,3 до 0,4 метров в год. На формирование столь относительно низких (для ледового комплекса) значений, оказали влияние следующие факторы:

- достаточно «удачное» северное экспозиционное положение берега (радиационный фактор);
- характер снегонакопления, зависящий от ветрового режима (накопление снега повышенной мощности на подветренных склонах, формирование снежников, предохраняющих берег в летнее время от разрушающего действия половодья и паводков, солнечной радиации);
- проведение специальных мероприятий инженерной защиты местными властями с. Сеяха – ежегодная отсыпка участков берегового склона, подверженных критическим изменениям, песчаным грунтом.

Негативными факторами, оказывающими влияние на динамику, является неграмотная хозяйственная деятельность, приводящая к интенсификации эрозионных процессов. Эрозионные врезы могут достигать 80-100 м в длину. Они формируются как в результате прямого линейного эрозионного размыва оголенных уступов, так и при вытаивании ПЖЛ.

Кроме техногенных факторов, существенное негативное влияние оказывают природные, а в частности, двойственная роль снежников. С одной стороны они защищают берега от термоабразионной деструкции, но с другой происходит усиление процессов термоэрозии и криогенного оползания. Таяние снежников в период снеготаяния вызывает активный сток и как следствие - термоэрозию. Совместно с ней активно развиваются криогенные оползни течения.

### Выводы

1. Сложное геокриологическое строение территории существенно усложняет проведение инженерно-геологических изысканий и требует проведения дополнительных мероприятий.
2. Территория изысканий сложена отложениями ледового комплекса.
3. Четко выделяется две толщи: нижняя толща представлена заторфованными сильнольдистыми легкими пылеватыми суглинками, имеющими поясковую криогенную текстуру; верхняя - незаторфованные льдистые суглинки.
4. Выделяются две генерации ледяных жил: первая, представленная мощными жилами, расположенная в нижней заторфовой толще, и вторая, представленная более мелкими жилами, которые располагаются в вышележащих отложениях.

5. Отложения не засолены. Общее количество воднорастворимых солей колеблется от 0,035 до 0,085 %.

6. Объемная льдистость за счет ПЖЛ для нижней толщи достигает высоких значений и составляет примерно 40 % от суммарной, а для верхней чуть меньше – 25 %. Объемная микрولльдистость колеблется приблизительно в одних пределах - около 0,55 д.е.

7. На участках подверженных техногенному воздействию происходит увеличение среднегодовой температуры грунтов на 3...4°C, до критических -0,5°C.

8. Для реки Сеяха характерна интенсивная боковая эрозия. Скорость отступления берега изменяется от 0,3 до 0,4 метров в год.

9. Освоение территории, без учета особенностей геологического строения, может привести к заметной активизации криогенных процессов.

### Заключение

В связи с широким распространением в Западной и Восточной Сибири сильнольдистых отложений, включающих полигонально-жильные льды, особенности проведения инженерно-геологических изысканий в сложных мерзлотных условиях является чрезвычайно актуальными.

Приведенные данные, позволяют сделать определенные выводы, применимые к другим объектам, расположенным в подобных мерзлотно-грунтовых обстановках.

### Литература

- Васильчук Ю.К. Новый подход к расчету макротекстурообразующей льдистости за счет повторно-жильных льдов // Инженерная геология, сентябрь 2009. – с. 40-47.
- Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геокриологии и гляциологии. Учебник. – М.: Изд-во Моск. ун-та. 2000. – с.364-370.
- Васильчук Ю.К. Повторно-жильные льды: гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность // М.: Изд-во Моск. Ун-та. 2006. – с. 172-182.
- Васильчук Ю.К., Серова А.К., Трофимов В.Т. Новые данные об условиях накопления каргинских отложений на севере Западной Сибири // Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода, № 53, 1984. - с.28-35.
- Гасанов Ш.Ш. Расчет объемной макрولльдистости вечномерзлых пород при разработке россыпных месторождений // Колыма, № 6, 1969. – с.41-42.
- ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация».
- Конищев В. Н. Природа циклического строения ледового комплекса Восточной Сибири // Криосфера Земли, 2013, т.XVII, №1. - с. 3-16.
- Руководство по специализированному климатологическому обслуживанию экономики // Под ред. Н.В Кобышевой. – СПб, 2008 (обзор за период с 1966 по 2007 г.).

## Экотонные ландшафты криолитозоны Центральной Сибири в условиях изменения климата

А.А.Медведков

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ф-т почвоведения, Москва, Россия*

### Реферат

Рассматривается отклик среднетаежных ландшафтов Центральной Сибири на потепление климата. Проанализированы изменения в системах экодинамики, мерзлотных и немерзлотных ландшафтов на основе повторных исследований. Ландшафты криолитозоны ранжированы по подверженности к потепления климата.

**Ключевые слова:** ландшафтная индикация, средняя тайга, мерзлотный экотон, изменения климата.

## Ecotone Landscapes of the Cryolithozone of Central Siberia in a Changing Climate

A.A.Medvedkov

*Lomonosov Moscow State University, Soil Science Department, Moscow, Russia*

### Abstract

The article emphasizes the changes in the Yenisei Siberian middle boreal (taiga) landscapes caused by climate warming. Transformation of landscapes and natural systems' responses to outer influences are analyzed on the basis of repetitive studies. The cryogenic landscapes are ranked by their susceptibility to climate warming.

**Key Words:** landscape indicators, middle boreal (taiga), permafrost landscapes, climate warming.

### Введение

Подзона средней тайги Центральной Сибири – часть периферии криолитозоны, в которой природным ландшафтам свойственна высокая мозаичность, так как они сформированы в сложных геологических, геоморфологических и геофизиологических условиях.

В рамках полевых работ (2008-2012 гг.) проводилась ландшафтно-геоэкологическая инвентаризация природных компонентов на трансектах через главные типы лесных, болотных, гаревых катен в пределах левобережной и правобережной частей Приенисейской Сибири подзоны средней тайги. Маршрутное профилирование осуществлялось по трансектам, заложенным вкрест и по геоморфологической катене, с учетом сопряженных поверхностей рельефа, наиболее разнообразных в морфолитогеоморфном, почвенно-географическом и ландшафтном отношении. Детальные ландшафтные описания по маршруту, сопровождалось выяснением положения верхней границы многолетней мерзлоты с помощью шупа, проводилась диагностика мерзлотных и немерзлотных процессов. По ходу маршрута закладывались тестовые геоботанические площадки 20x20 м, где определялись такие параметры, как состав, бонитет, сомкнутость и возраст древостоя (с помощью буравы Пресслера).

В ходе маршрутных исследований особое внимание уделялось полевому изучению ландшафтной структуры ключевых участков с учетом специфики поверхностных отложений и характера их геоморфологической

дифференциации; ландшафтной индикации мерзлотных природно-территориальных комплексов (ПТК) и ранжированию ландшафтных комплексов на «мерзлотные и «немерзлотные». Комплексный анализ такой информации позволил выявить и оконтурить (на уровне сложных урочищ) наиболее уязвимые ландшафтные комплексы для разного рода внешних воздействий (в том числе и климатическим).

Наряду с этим в ходе полевых исследований проводился мониторинг разных типов мерзлотных и немерзлотных урочищ по специфике их отклика на потепление климата, которые сопоставлялись с данными, полученными С.П. Горшковым в ходе полевых работ в 70-х, 80-х, 90-х и 2000-х годах XX в.

Особое внимание уделялось наблюдениям за конкретными информативными природными объектами и явлениями: курумы, солифлюкционные наплывы, реликтовые криогенные формы рельефа и др.

Для оценки изменений ресурсно-экологических функций природных систем ландшафтного экотона (на уровне сложных урочищ) в условиях потепления климата и роста его нестабильности использовались мониторинговые данные, основанные на опросах семей кетов – представителей коренных малочисленных народов Севера. Традиционное хозяйство кетов «жестко» привязано к ландшафту, а в все стрессовые ситуации в природном комплексе незамедлительно отражаются на их самообеспечении и социальном благополучии, что позволяет говорить о высокой степени достоверности полученной нами информации.



## Основные результаты и их обсуждение

Мерзлотные ландшафты весьма чувствительны, хотя и в разной степени, к потеплению климата. В связи с этим важны их индикация и выявление специфической приуроченности. Мерзлотные процессы в среднетаежных ландшафтах часто проявляются в благоприятных субстратных условиях вне зависимости от условий теплообеспеченности граней рельефа. Так, литолого-геоморфологический и ландшафтно-географический анализы показали, что в области нижнего течения р. Подкаменная Тунгуска в большинстве своем мерзлотные урочища приурочены к поверхностным отложениям алеврит-пелитового состава. Это свидетельствует о приоритетной роли литологического фактора. Важную демаркирующую роль в ландшафтном отношении выполняет южная граница верхнеплейстоценового оледенения, которая разделяет современные среднетаежные природные комплексы на ландшафты ледниковой и внеледниковой зон. В ледниковой зоне мерзлотные ландшафты преобладают в пределах верхнего яруса рельефа, будучи приуроченными к вершинным поверхностям, привершинным склонам, склонам и днищам долин, где дисперсные породы перекрывают выходы траппов. Во внеледниковой зоне ситуация иная: здесь мерзлотные ландшафты приурочены к нижнему ярусу рельефа (сочетание эрозивной долинной сети и водораздельных понижений) ввиду повышенной обводненности за счет концентрации поверхностного стока, близкого залегания грунтовых вод и др. Следующий фактор – экспозиционный: мерзлота прослеживается на склонах холодной экспозиции (северных и восточных румбов) с выходами трапповых пород. Данные участки характеризуются повышенной обводненностью, развитием курумодесерции, а в наиболее развитой стадии процесса – еще и нарастанием торфяника. Пример сочетания нескольких факторов, ведущих к образованию мерзлотных урочищ, я – «висячие» торфяные болота. «Висячие» болота расположены в основном на крутых приречных склонах с низкой теплообеспеченностью. Под маломощным торфяником в каждом из них залегает курум. Мерзлоту торфянику присуща высокая сегрегационная льдистость. Наиболее выразительны ледовые включения размером с грецкий орех. Мерзлый слой скрыт под напочвенным покровом, состоящим из мхов, лишайников и кустарничков с обилием багульника и карликовой березки. Но в условиях глобального потепления возможно, что мерзлота аггридирует в их пределах из-за увеличения продолжительности вегетационного периода, способствующей росту мощности торфорастительного слоя, выступающего в роли теплоизолятора.

Наши исследования показывают, что многолетнемерзлые породы проявляют себя в разных урочищах, которым присущи дистрофичность, угнетенность и видовая обедненность растительности, заметные нарушения дневной поверхности, специфический почвенный профиль с признаками оглеения, повышенная обводненность почв и

поверхностных отложений, проявление криогенных процессов и явлений.

С середины 1990-х годов по настоящее время кровля мерзлоты местами ушла вглубь на 1.5-2 м и более, начался процесс деградации мерзлоты, что связано с прогревом многолетнемерзлой толщи.

Начавшаяся деградация мерзлоты сразу же отразилась на облике мерзлотных ландшафтов, что проявилось в исчезновении воды в солифлюкционных ямках-разрывах; появились упавшие деревья с целиком вывороченной корневой системой стелящегося типа, так как ветер легче их заваливал, а корневая основа теряла опору в виде твердого мерзлого субстрата. В результате в ландшафтах подзоны островной мерзлоты наблюдается количественное увеличение форм рельефа биогенного происхождения, так называемых искорей. Местами отмечается локальное замещение солифлюкционных процессов оползневыми в местах активизации речной эрозии. Из-за осушения некоторые растения, прежде всего хвощ, теряли зеленую окраску, придавая напочвенному покрову летом желтовато-золотистый цвет. Появились небольшие термокарстовые озера с провалившимся и ставшим мертвым древостоем.

Быстрее, чем в пределах мерзлотного редколесья, мерзлота отступает вглубь в основании каменных рек и россыпей, называемых курумами. Исследования на ключевых участках показывают, что в пределах курумов, в первую очередь на склонах южной и западной экспозиций, протаял гольцовый лед, образовались небольшие впадины и исчезли подповерхностные холодные ручейки. Происходит зарастание курумов лишайниками, кустарничками и отдельными деревьями. А в низовьях долины р. Подкаменная Тунгуска незалесенные курумы даже на плохую теплообеспеченность склонах, в днищах долин, на склонах и вершинных поверхностях с отметками не более 400 м утратили гольцовый лед. Теплых курумов много в северной половине Енисейского кряжа и западе Среднесибирского плоскогорья вплоть до р. Нижняя Тунгуска в районе траппового массива Северный камень, что всего на 70 км южнее полярного круга. Более устойчива к потеплению мерзлота в днищах глубоких долин и на крутых склонах северных и восточных румбов, имеющих низкую теплообеспеченность. Кровля мерзлоты остается пока стабильной на верхнем плато запада Средней Сибири с абсолютными отметками 550-700 м.

На основе анализа собранных материалов мы предполагаем, что в курумах подзоны средней тайги в условиях потепления климата развиваются защитные реакции отрицательных обратных связей. На первой стадии происходит вытаивание гольцового льда и постепенное зарастание курумов мхами, лишайниками, древесными породами. При постепенном зарастании курума мелкозем накапливается, заполняет ниши между глыбами, и образуется более полноценный почвенный профиль А1-АВ-С, буротаежной скелетной почвы. Отмечено, что в местах концентрации черных налипных лишайников усиливаются накопление мелкозема и скорость зарастания курума. При дальнейшем

накоплении мелкозема буротаежная скелетная почва переходит в торфянистую буротаежную, увеличиваются доля дисперсных отложений и мощность торфо-растительного слоя, возрастают обводненность курума и его изоляция от нижнего слоя воздуха. На второй стадии происходит формирование «висячих» торфяных болот, по мере формирования которых отмечается агградация мерзлоты за счет увеличения льдистых пород.

Наши исследования показывают, что за период 1980-2012 гг. в Центральной Сибири лишь высокотемпературная мерзлота подверглась деградации: курумы во всех подзонах криолитозоны, но без захвата верхнего пенеплена, а высокотемпературная мерзлота в пелитовах породах - только в подзоне островной мерзлоты и южнее.

### Выводы

Наиболее заметные процессы-отклики на потепление климата в ландшафтах мерзлотного экотона Центральной Сибири:

увеличение мощности деятельного слоя мерзлых пород (10-15 см/год в пределах малоустойчивых урочищ) и активизация солифлюкции; случаи локального замещения солифлюкции оползневым движением грунтов в местах активной речной эрозии; аномально частое падение деревьев, имеющих корневую систему стелющегося типа, в местностях, где глинистые грунты переувлажнены, имеют вязкопластичную консистенцию и мощность 1.5 м и более;

улучшение дренажа на вершинных поверхностях и примыкающих пологих склонах; увеличение на курумах (наиболее уязвимых к потеплению климата ПТК) подвижности крупных глыб в результате таяния гольцового льда, а также числа и площади пятен зарастания из мхов и лишайников; истощение подземных

водотоков под глыбовым покровом курума; усиление термокарстовых процессов (в пределах заболоченных участков); ухудшение качества лесных и охотничье-промысловых ресурсов за счет увеличения доли березы и осины в темнохвойной тайге; учащение вспышек болезней леса и их распространение на большие площади, неурожай ягод и кедровых орехов и др.

Кеты – представители коренных народов Сибири - отмечают, что 20-25 лет назад морозы продолжались минимум один месяц, а сейчас морозы длятся не более 2-3 недель. Наблюдения кетов подтверждают и данные находящихся в регионе метеостанций, свидетельствующие об учащении оттепелей и потеплении зимнего периода. В итоге мощность снежного покрова стала меньше, что не могло не сказаться на продуктивности ягодников. Известно, что при сокращении мощности снежного покрова увеличивается вероятность промерзания голубики и черники. Об уменьшении мощности снежного покрова свидетельствуют кеты-охотники, которые отмечают, что из-за этого стало сложнее добыть сохатого (лося). Результатом всего стал феномен "голодной тайги", присущий последним двум десятилетиям.

Рассматриваемый экотон располагается на западе Среднесибирского плоскогорья и восточной окраине Западно-Сибирской низменности. Здесь реакция на потепление климата не только вызывает изменение мерзлотно-ландшафтных условий, экодинамических процессов, продуктивности природных систем, но и влияет на жизнеобеспечение местного населения. Понимание происходящих процессов в пределах мерзлотного экотона важно для оценки изменений современных ландшафтов бореальной зоны Северной Евразии и состояния ее природно-экологических ресурсов в будущем.



## Криогенные риски арктических территорий

В.П.Мельников,

*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

Д.С.Дроздов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Криолитозона Арктики чрезвычайно чувствительна к климатическим изменениям и техногенному вмешательству, особенно если взаимоусиливается приток тепла в геологическую среду и происходит некомпенсированное нарушение естественных покровов. В результате потепления климата последних десятилетий юге криолитозоны России сложились благоприятные условия для оттаивания мерзлоты сверху и замены сезонного протаивания сезонным промерзанием, хотя полного оттаивания всей многолетнемерзлой толщи ММТ (как современной, так и реликтовой) пока не происходит. Сохранение криогенных ландшафтов, а также качества и долговечности сооружений и транспортных систем в высокотемпературной криолитозоне достигается, с одной стороны, за счёт поддержания природных условий теплообмена и сбережения существующих покровов, а с другой – применением термостабилизаторов различной конструкции.

**Ключевые слова:** Арктическая зона России; криолитозона, потепление климата, техногенное (антропогенное) вмешательство; геоэкология Севера.

### Cryogenic Risks at Arctic Territories

V.P.Melnikov

*Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS, Tyumen, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

D.S.Drozдов

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Permafrost in the Arctic is very sensitive to climate change and technogenesis, especially in case of their interference reinforcing each heat income into the ground and uncompensated violation of natural cover. As a result of climate warming during recent decades favorable conditions for the thawing of subsurface permafrost appeared in the southern part of Russia cryolithozone. The permafrost table started to descend. Saving cryogenic landscapes, as well as the quality and durability of buildings and transport systems in the high temperature permafrost zone is achieved, on the one hand, due to the conservation of natural environment and of existing heat flux, and on the other hand, due to the use of heat stabilizers of various designs.

**Key Words:** Russian Arctic regions; climate warming, cryolithozone, technogenic (anthropogenous) factor, geo ecology of the North

### Введение

Характеристическая особенность криосферы – её циклическая динамичность – в том числе и непрерывная смена ледниковых эпох и межледниковий разной продолжительности и интенсивности. К теперешнему моменту уже второе столетие длится повышение температуры с градиентом  $0,6...0,7^{\circ}/100$  лет, и мерзлота постепенно отступает к полюсам. В российской Арктике особо быстрый подъем температуры пришёл на 1970-80-е годы. В целом поверхностная криосфера (ледники, морской лёд) и подземная криосфера (вечномерзлые или

многолетнемерзлые толщи ММТ) сосредоточены в основном в Арктике и Антарктике и лишь ограниченно – в горных районах умеренных и низких широт. Т.о. очевидно, что основным сосредоточением вечной мерзлоты, как геологического образования является Арктическая и Субарктическая зоны Северного полушария. Антарктика – это преимущественно зона покровного оледенения горные породы под которым находятся как в мерзлом, так и в талом состоянии. Из атмосферной влаги 90% содержится в тропосфере, частично в твёрдом состоянии [Мельников 2014, Мельников Дроздов Малкова 2009].

Накапливающиеся в последние годы данные говорят что реальная глубина проникновения криогенных процессов существенно глубже нулевой изотермы – это глубина распространения в литосфере и в океанах газовых гидратов, создающих горизонты положительно-температурной криолитозоны, которая контролируется от палео- и современными термобарическими условиями. Подавляющая часть газовых гидратов приурочена к акваториям – океанам, морям, глубоководным озёрам типа Байкала.

Благодаря журналистам и политикам проблема глобальных изменений стала больше спекулятивной, чем научной, а катастрофические «прогнозы» выжигающего потепления и нового ледникового периода сменяют друг друга раз в 20-25 лет [Ponte 1976, Гор 2007, Ледовое побоище 2009]. Сейчас север ещё не прогрелся до уровня пика тепла, который наблюдался в 1935-1942 гг., а богатый углеводородами полярный регион вновь стал ареной старых взаимных территориальных притязаний арктических государств. Отстаивая свои интересы, Россия приложила колоссальные усилия для обоснования геологических структур подводного хребта Ломоносова в Северном Ледовитом океане как продолжения российского арктического шельфа.

### Природные риски

В Российской Федерации криолитозона занимает 2/3 территории. Это северные и северо-восточные регионы России, в пределах которых приповерхностная часть земной коры частично или полностью представлена отрицательнотемпературными горными породами, содержащими ледяные включения. Выделяется зона сплошной (>90% площади), прерывистой (50-90%), островной (10-50%) и редко островной (<10%) мерзлоты. Мощность от первых десятков метров до многих сотен метров (рис.1). Специфическим образованием являются так называемые реликтовые многолетнемерзлые породы, залегающие на глубине сотни метров ниже современных ММТ, часто отделенные от них горизонтами талых (межмерзлотных) пород и простирающиеся гораздо дальше на юг.

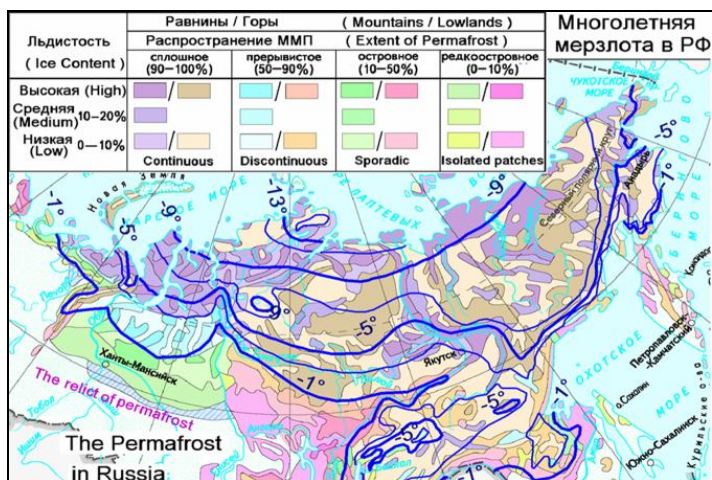


Рис.1. Распространение, льдистость и температура многолетнемерзлых пород в России  
[by E.S.Melnikov, K.A.Kondratieva, G.F.Gravis]

Основными характеристиками ММТ являются генезис мощность, сплошность распространения, температура, льдистость, литологические и теплофизические свойства грунтов, экзогенные геологические процессы. Засоленность грунтов часто определяет состояние пород при отрицательных температурах и образование в них т.н. криопегов. С мерзлыми породами связан сложный комплекс процессов. Техногенное воздействие как правило резко ускоряет деструктивные экзогенные геологические процессы, доводя их до катастрофической активности, особенно, если происходит деградация сильнольдистых рыхлых горных пород или вытаявание так называемого ледового комплекса и пластовых льдов (рис.2 и 3). Обычно геокриологический фактор осложняет хозяйственную деятельность, но в чём то мерзлота выступает как фактор благоприятный, слагая надёжные основания, образуя водоупоры, снижая миграционную активность загрязняющих веществ.

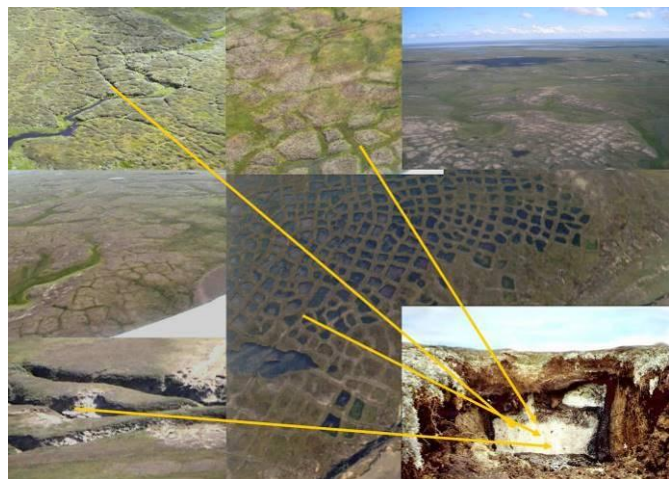


Рис.2. Сингенетически мёрзлые породы. Повторно-жильные льды: верхняя часть клина льда шириной ~3 м и высотой ~8-10 м (врезка в правом нижнем углу); многочисленные формы полигонального рельефа по повторно-жильным льдам, в т.ч. освоенные эрозией и термоэрозией. Повторно-жильные льды редко слагают т.н. "ледовый комплекс" с объемной макрольдистостью 50-80%.



Рис.3. Пластовые льды – пласт льда мощностью несколько метров практически непосредственно под грунтами деятельного слоя (фото Д.С.Дроздова)





Рис.4. Образование термоцирка на месте вытаявающего пластового льда (фото Д.С.Дроздова)

Развитие учения о геосистемах и теоретических представлений о закономерностях трансформации криосферы [Общее... 1978, Ландшафты криолитозоны... 1983] стали основой обновления подходов к картированию и к составлению нормативной базы проектно-изыскательных работ. Однако сделанные разработки используются не везде и не всегда, за что природа расплачивается повсеместным образованием "бедлендов". Аномально теплыми оказались 2007-08 и 2012-14 годы, и геокриологический мониторинг показал, как на это прореагировала вечная мерзлота и ландшафты в целом [Васильев Дроздов Москаленко 2008, Украинцева и др. 2011, Пономарева Гравис Бердников 2012]:

- активизировались криогенное растрескивание и рост повторно-жильных льдов (см.рис);
- увеличилась пучинистость грунтов;
- активизировались процессы термокарста и термоденудации; увеличилось количество криогенных оползней и интенсифицировалась солифлюкция;
- увеличались темпы термоэрозии (рис.4) и оврагообразования;
- в лесотундровых ландшафтах повсеместно наблюдается опускание кровли мерзлоты и формирование обширных надмерзлотных таликов, принципиально изменяющих тепло-влагообмен, гидрогеологические условия, несущую способность грунтов;
- резко увеличились площади выгорания бореальных лесов с последующей трансформацией ММТ;
- разрушаются льдистые берега (скорость отступания берега до 15 м/год вместо обычных 0,5-2 м/год).

### Техногенные риски

Эти естественные процессы на огромных территориях усиливаются хозяйственной деятельностью человека, особенно при строительстве линейных сооружений большой протяженности [Лендин Ганова 2009]. Очаговый характер освоения начинает сменяться фронтальным. Растет аварийность геотехнических систем. Это выпучивание колон, каркасов зданий, термокарстовые просадки, различные деформации сооружений и объектов. Вдоль трубопроводов (а также дорог) происходит заболачивание и подтопление и как следствие – всплывание труб. Автомобильные и

железные дороги приобретают волнистый продольный профиль, здания разрушаются и деформируются (рис. 3, 4). Во многом это связано с экономией на изыскания, устаревшими стандартами, нарушением режима эксплуатации.



Рис.5. Выпучивание трубопровода с последующей осадкой поверхности под ним (фото Я.В.Пановой)



Рис.6. Норильск. Деформированный криогенными процессами фундамент разобранных секций 9-этажного здания (фото Д.С.Дроздова)

Всё это протекает не смотря на то, что технологии безопасного хозяйствования и давно разработаны, и совершенствуются. С конца 40-х годов XX века атмосферный холод используется для температурной стабилизации грунтов оснований фундаментов с помощью сезонно-действующих охлаждающих установок и систем. Часто удаётся обойтись без дополнительных энергозатрат: по тонким трубам, заполненным газом (аммиак, CO<sub>2</sub>) и помещенным в скважину или уложенным в грунте горизонтально,

"зимний холод" под действием гравитационной конвекции "опускается" вглубь, охлаждая окружающие скважину породы, в то время как летом циркуляции нет и теплообмен с поверхностью прекращается. При недостаточной эффективности может подключаться принудительное охлаждение и циркуляция (рис.7) [Долгих и др. 2012].



Рис.7. Горизонтальные охлаждающие элементы в основание емкостей резервуарного парка (фото "Фундаментстройаркос")

### Заключение

Криолитозона Арктики чрезвычайно чувствительна к климатическим изменениям и техногенному вмешательству, особенно если взаимоусиливается приток тепла в геологическую среду и происходит некомпенсированное нарушение естественных покровов. Потепление климата последних десятилетий способствовало повышению температуры верхних горизонтов мерзлых толщ во многих районах Севера. При этом на юге криолитозоны России сложились благоприятные условия для оттаивания мерзлоты сверху и замены сезонного протаивания сезонным промерзанием, хотя полного оттаивания всей ММТ (как современной, так и реликтовой) пока не происходит.

Осуществление в едином комплексе мониторинга криолитозоны и климата показывает, что развитие глобального потепления климата в рамках умеренного сценария не приведет в XXI в. к повсеместной деградации многолетнемерзлых пород. Обсуждаемая проблема нуждается в дальнейшем комплексном изучении, особенно в части оценок и прогноза развития криогенных геологических процессов в условиях меняющегося климата.

Сохранение качества и долговечности сооружений и транспортных систем в высокотемпературной криолитозоне достигается применением термостабилизаторов различной конструкции, что уже давно практикуется в России, на Аляске и китайском Тибете. В сочетании с теплоизолирующими и дренирующими диатомитовыми материалами эффективность термостабилизаторов кардинально повышается.

Открытие новых веществ, материалов, технологий на базе и для нужд связанных с криолитозоной производств, обязывает ученых и специалистов разных профессий направить свой поиск на раскрытие тайн холодного мира, выявление новых, тающих в мерзлоте ресурсов и минимизацию рисков, связанных с высокой динамичностью процессов в Арктической криолитозоне России, как при потеплении, так и при похолодании климата, а также при техногенных воздействиях.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фундаментальных программ VIII.75.1 и VIII.77.2, интеграционных проектов СО РАН – ДВО РАН № 9 и СО РАН № 144, ОНЗ РАН № 12, госзаданий Минобрнауки № 9093 и № 1082, грантов Президента РФ НШ-5582.2012.5, РФФИ-РГО-13-05-41509 РГО, РФФИ 13-05-00811, 13-08-91001-АНФ-а, 14-05-00956, 15-55-71004\15, международных программ TSP, LCLUC, CALM, GTN-P, SWIPA, Администрации ЯНАО.

### Литература

- Васильев А.А., Дроздов Д.С., Москаленко Н.Г. Динамика температуры многолетне-мерзлых пород Западной Сибири в связи с изменениями климата – Криосфера Земли, 2008, Том XII, № 2, с. 10-18.
- Гор А. Неудобная правда: Глобальное потепление; как остановить планетарную катастрофу. – М.: Амфора, 2007. – 320 с.
- Долгих Г.М., Окунев С.Н., Стрижков С.Н. Строительство объектов в криолитозоне с использованием инновационных систем термостабилизации грунтов оснований // Десятая Межд. конф. по мерзлотоведению (TICOP). Т.3. – Тюмень: Печатник, 2012, с.153-157.
- Ландшафты криолитозоны Западной-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Е.С. Мельникова. – Новосибирск: Наука, 1983. – 165 с.
- Ледовое побоище: Арктический шельф в мировой политике и экономике XXI века. – М.: Трибуна, 2009. – 272 с.
- Мельников В.П. К созданию цельного образа криосферы. // Криосфера Земли, 2014, Т.XVIII, № 4, с. 3-12.
- Мельников В.П., Дроздов Д.С., Малкова Г.В. Климатические и криогенные факторы обустройства северных территорий // Геология и разведка, 2009, № 6, с.75-82.
- Общее мерзлотоведение (геокриология) / Под ред. В. А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1978, 464 с.
- Пендин В.В., Ганова С.Д. Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне – М.: ОАО «ПНИИИС», 2009, 236 с.
- Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Бердников Н.М. Динамика криогенных процессов в северной тайге Западной Сибири в условиях меняющегося климата // Десятая Межд. конф. по мерзлотоведению (TICOP). Т.3. – Тюмень: Печатник, 2012, с.431-436
- Украинцева Н.Г., Дроздов Д.С., Попов К.А., Гравис А.Г., Матышак Г.В. Ландшафтная индикация локальной изменчивости свойств многолетнемерзлых пород (Уренгойское месторождение, Западная Сибирь). // Криосфера Земли, 2011, Т.XV, №4, с.37-40.
- Ponte L. The Cooling. Prentice-Hall. – Englewood Cliffs, New Jersey, 1976. 306 p.





## Новые данные о геокриологических условиях в северной части Тунгусской синеклизы.

И.Е.Мисайлов

*Институт мерзлотоведения им.П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН), Якутск*

### Реферат

В работе на основании геотермических исследований в глубоких скважинах дана характеристика геотемпературного поля и определена мощность толщи мерзлых пород участка Ондодоми в краевой северной части Тунгусской синеклизы. В лабораторных условиях выполнены определения теплофизических свойств основных типов горных пород и оценена величины внутриземного теплового потока в мерзлой толще и подмерзлотном горизонте.

**Ключевые слова:** Температура горных пород, геотермический градиент, мощность толщи мерзлых пород

### New data on the Permafrost Conditions in the Northern Part of the Tunguska Synclin.

I.E.Misaylov

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*

### Abstract

Based on the geothermal measurements in deep boreholes, this study provides the first characterization of the subsurface temperature field and the permafrost thickness in the geologically and tectonically complicated, transitional zone extending from the Yenisei-Khatanga Trough to the Tunguska Basin. The laboratory determinations of thermophysical properties for the main types of rocks, as well as the estimations of geothermal heat fluxes in and below the permafrost are presented.

**Key Words:** The temperature of the rocks, the geothermal gradient, permafrost thickness.

### Введение

Север Красноярского края по потенциалу запасов полезных ископаемых и их экономической значимости принадлежит к одному из развивающихся регионов России. Изучение особенностей распространения многолетнемерзлой толщи (ММТ) и её параметров является потребностью для инженерных решений.

С 2013 по 2015 годы были проведены мерзлотно-геотермические исследования и получены новые знания о мощности многолетнемерзлой толщи и тепловом поле горных пород северной части Тунгусской синеклизы, в долине р.Ондодоми (рис. 1).

На Ондодоминской площади, расположенной на севере Красноярского края, проведены геотермические замеры двух скважин до глубины 1500 м, определена мощность ММТ и геотермический градиент.

### Природные условия

Площадь расположена в пределах северных отрогов плато Путорана (северный склон плато Хараелах) в бассейне рек Кыстыктах-Ондодоми-Чопко. В северной и северо-западной части площади небольшой участок относится к Таймырской (Северо-Сибирской) низменности.

Климат района резко-континентальный субарктический с продолжительной холодной зимой и коротким теплым летом. Среднегодовая температура воздуха  $-10,8^{\circ}\text{C}$ .

Наиболее холодный месяц январь, со средней температурой  $-29,9^{\circ}\text{C}$ , минимальная температура  $-58^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура наиболее теплого месяца (июль)  $+12,4^{\circ}\text{C}$ , максимальная температура  $+31^{\circ}\text{C}$ .

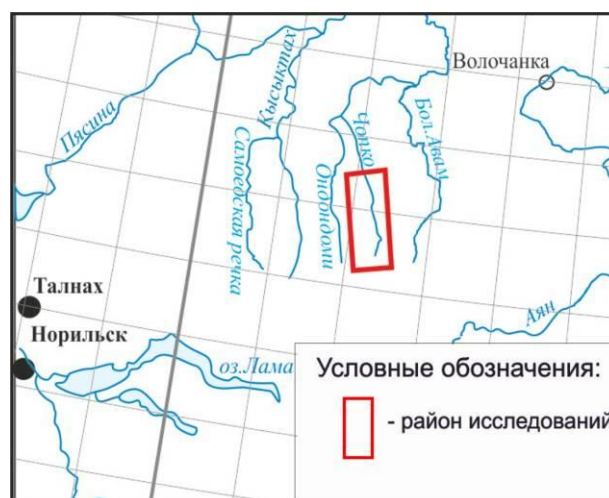


Рис.1. Обзорная схема района исследования.

Среднегодовое количество осадков составляет 368 мм, а среднегодовая относительная влажность – 78%. На зимний период приходится 197 мм осадков, на теплый – 171 мм. [Климат России 2001].

## Геокриологические условия

Согласно геокриологической карте [Кондратьева и др. 1996] и монографии Геокриология СССР [Геокриология СССР 1989], район исследований является областью развития многолетнемерзлых пород, которые характеризуются сплошным распространением. Ранее в целом по региону мощность ММТ оценивалась от 400 до 500 м. На этой территории геотермические исследования не проводились, а мощность ММТ предполагалась по аналогии с соседними площадями (Ледянская, Ханар и др.).

Геотермические исследования на Кыстыктахской площади (см. рис.1), в которых принимал участие автор, включают изучение температуры пород в глубоких скважинах.

Целью этих исследований было получение информации о температурах пород, оценке мощности многолетнемерзлой толщи и характеристике теплового поля в пределах Ондодоминской площади. Для этого были проведены геотермические исследования в разведочных скважинах, до глубины 1500 м и определены теплофизические свойства основных типов горных пород, по отобраным с разных глубин образцам керна.

После окончания бурения и каротажных работ, в скважине 2-Онд были проведены точечные геотермические измерения в 89 точках на разных глубинах (рис.2). Температура горных пород на глубинах 100, 300, 500, 1000 и 1500 метров соответственно была равна – 0,7; 2,7; 6,6; 22,4 и 31,3°C.

По характеру геотемпературной кривой скв. 2-Онд выделяется несколько зон, отличающихся градиентом температуры:

1. в интервале от 20 до 200 м наблюдается отрицательная или слабо градиентная зона (до 1,0°C/100м);
2. интервал (200 - 220 м) с положительным градиентом до 2,0°C/100м в толще мерзлых пород;
3. в подмерзлотном горизонте в интервалах глубин 220-300м и 960-1040 м геотермический градиент составляет 3,3...3,4°C/100м;
4. с 300м до 860м градиент температуры более стабилен и в среднем равен 2,3°C/100м;
5. в интервале глубин 860 - 960 м его значение резко возрастает до 5,5°C/100м. Скорее всего это связано с мощными пластами каменного угля и сильной трещиноватостью пород.
6. с 1040 м и до забоя его значение уменьшается и варьирует от 1,6 до 1,9°C/100 м.

По данным полученных температурных измерений глубина нулевой изотермы (мощность многолетнемерзлой толщи) составляет 220 м.

В скважине Онд-1 геотермические исследования проведены до глубины 1500 м в 93 точках на разных глубинах (рис.3). Температура горных пород на глубинах 100, 300, 500, 1000 и 1500 метров соответственно была

равна –2,7; 2,1; 7,1; 18,8 и 28,6°C. В мерзлой толще в интервале глубин от 20 м до 90 м наблюдается отрицательная слабо градиентная зона (до 1,0°C/100м), далее с 90 м до 220м отмечено повышение градиента температуры до 2,1°C/100 м.

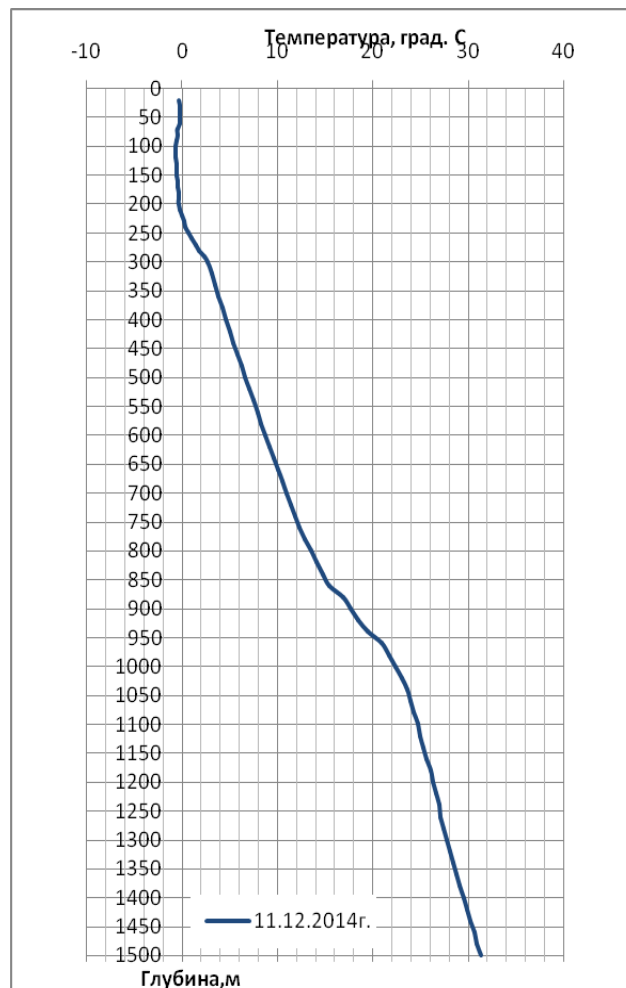


Рис. 2. Температура горных пород по скв. 2-Онд.

В подмерзлотном горизонте в интервале глубин с 220 м до 800 м геотермический градиент более стабилен и составляет в среднем 2,5°C/100м. Далее с глубины 800 м и до забоя его значение уменьшается и изменяется от 1,8 до 1,9°C/100 м.

Спустя 1 год 1 месяц со дня окончания её бурения и установки «термогирлянды», температурное поле в подмерзлотном горизонте изменилось не более чем на 0,1°C (рис.3). Это говорит о том, что в процессе бурения естественная температура горных пород практически была не нарушена.

## Заключение

В результате геотермических исследований в поисково-разведочных скважинах Онд-1 и Онд-2, глубиной 1500 м, установлено, что:

- Мощность многолетнемерзлой толщи составляет 220- 230 м.

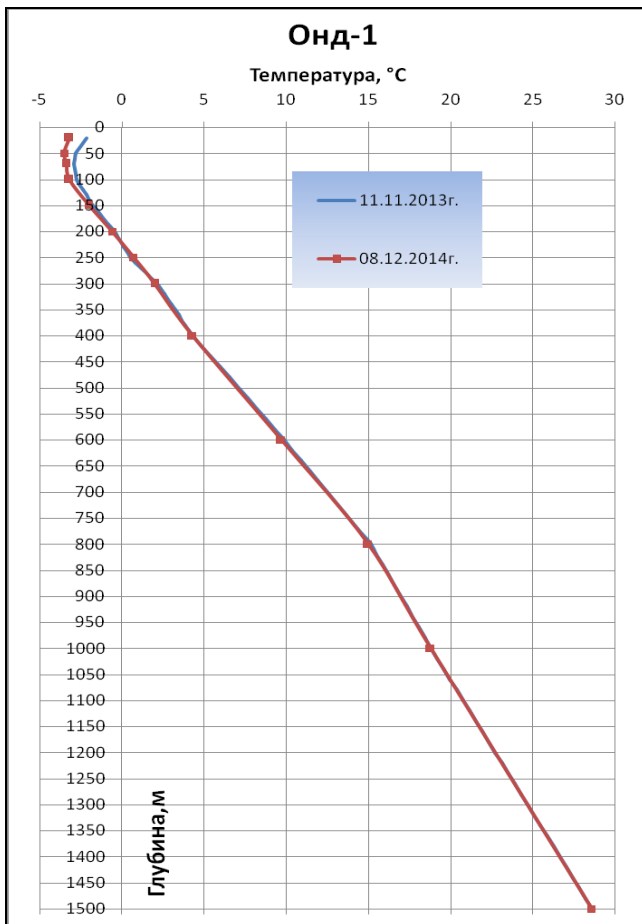


Рис. 3 Температура горных пород по скв. Онд-1.

- Температура пород на глубинах: 500, 1000 и 1500 м соответственно равна 6,6°C; 22,4°C и 31,3°C.
- Величина геотермического градиента в подмерзлотных горизонтах изменяется в зависимости от состава пород от 1,7 до 5,5°C/100м.

### Литература

Геокриологическая карта СССР, масштаб 1:2 500 000 / К.Кондратьева, В.Афанасенко, А.Гаврилов и др. — Винницкая картографическая фабрика Винница, 1996. - С. 16.

Геокриология СССР, Западная Сибирь/ Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989г.

Климат России / Н.В.Кобышева, Е.М.Акентьева, Э.Г.Богданова и др. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001, 656 с



## Модель теплового поля пород на Центральном Ямале

Д.Р.Муллануров, Ю.А.Дворников, М.О.Лейбман, А.В.Хомутов  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

По материалам полевых наблюдений на Центральном Ямале собрана база данных температур пород, а также проведена снегомерная съемка. По результатам анализа этих данных получены зависимости температуры пород от высоты снежного покрова.

**Ключевые слова:** температура пород, снежный покров, модель теплового поля.

### Model of Thermal Field on the Central Yamal

D.R.Mullanurov, Yu.A.Dvornikov, M.O.Leibman, A.V.Khomutov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

Field study in Central Yamal moulded collection of ground temperature data as well as snow survey data. Analysis of these data showed relation ground temperature on snow cover height as the basic agent influencing on formation of the ground temperature.

**Key Words:** ground temperature, snow cover, thermal field model

### Введение

Центральный Ямал является одним из ключевых стратегических объектов Российского нефтегазового сектора. Это требует детального изучения с позиции эффективной эксплуатации месторождений полезных ископаемых, и прежде всего с позиции фундаментальной науки. Такая потребность существует в связи с географическим положением, которое определяет практически все особенности развития инфраструктуры в данном регионе, связанные с суровыми климатическими условиями, уязвимыми экосистемами и развитием многолетнемерзлых пород.

Согласно климатическим данным [Хрусталева и др. 2007] в последние 50 лет на планете происходит повышение среднегодовой температуры воздуха, что напрямую отражается на состоянии ММП.

Как правило, происходит деградация мерзлоты и увеличение глубины СТС на отдельных участках [Осокин и др. 2013].

В данной работе рассматривается влияние снежного покрова на тепловое поле пород на примере ключевого участка «Васькины Дачи», расположенного в центральной части полуострова Ямал вблизи объектов Бованенковского НГКМ.

Проведен анализ данных, полученных в ходе мониторинговых работ, проводимых с 1993 года по сегодняшний день. Мониторинг ведется по трем основным направлениям: температура пород, глубина сезонно-талого слоя, высота и плотность снежного покрова. При этом учитывались климатические параметры: температура воздуха, количество осадков, сила и направление ветра.

### Методика работы

По данным ближайшей к ключевому участку метеостанции Маресале проведен анализ климатических параметров. Амплитуда колебания среднегодовой температуры воздуха с 1993 по 2014 год составляет 4,7 °С. Наиболее теплый год 2012 (-4,1°С), наиболее холодный – 1999 (-8,8°С). Величина тренда повышения среднегодовой температуры с 1999 года по 2014 составляет 0,1 °С/год (рис.1).

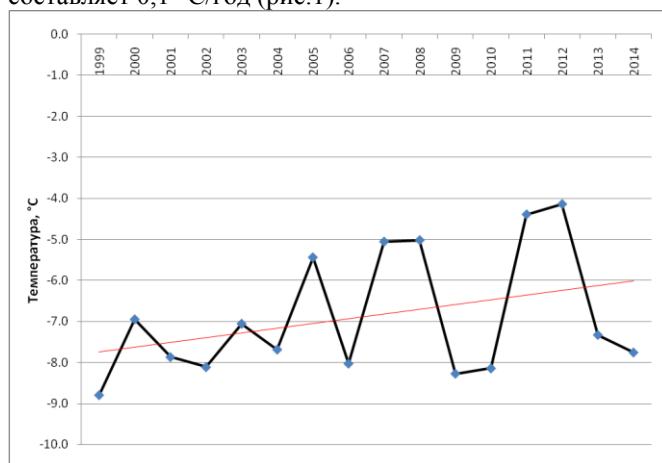


Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха, метеостанция Маресале.

Среднегодовое количество осадков за период 2005-2014 гг. составляет 420 мм, при этом максимальное и минимальное количество осадков за этот же период составляет 613 и 297 мм соответственно (рис.2). Среднее количество осадков, выпадающих в зимнее время (период

отрицательных температур) составляет 193 мм, максимальное и минимальное значения – 252 и 135 мм соответственно (рис.3).

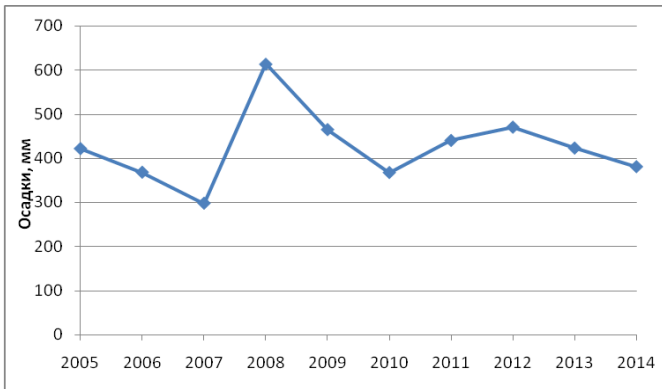


Рис. 2. График суммы осадков за разные годы.

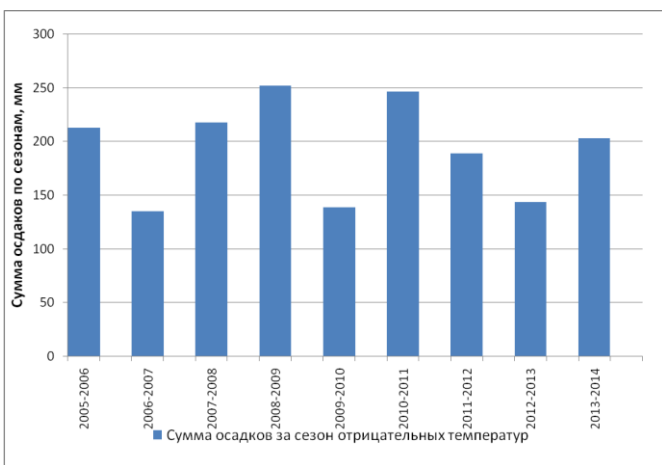


Рис. 3. Сумма осадков за сезон отрицательных температур.

Преимущественное направление ветров в период отрицательных температур с января по апрель – юго-западное, в период с сентября по декабрь – юго-восточное (рис.4).

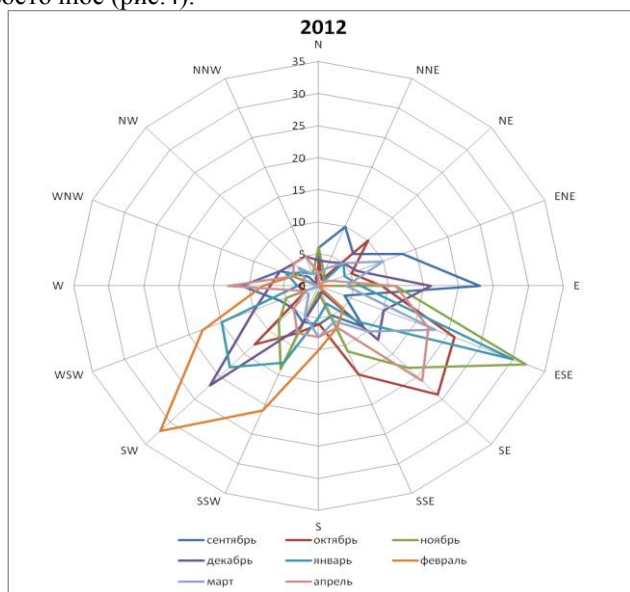


Рис.4. Роза ветров за 2012 г.

Измерение температуры пород ведется на стационаре с 1993 года, но непрерывный массив данных не удается собрать в связи с тем, что температурные датчики и логгеры выходят из строя.

В 2013 году в конце марта была проведена снегомерная съемка на стационаре. В точках расположения скважин замерена высота снежного покрова (табл.1). Максимальная измеренная толщина снега составила 315 см, в точках расположения скважин - от 0 до 83 см.

За изучаемый принят период 01.09.2012-31.08.2013, так как в конце марта 2013 года проведена снегомерная съемка. Дата 31 августа согласно [Лейбман и др, 2012] является датой максимального протаивания. Расчет по выбранным датам позволит с максимальной точностью выявить влияние снежного покрова на формирование температурного режима пород на ключевом участке.

Все полученные данные сведены в единую таблицу, где приводятся значения среднегодовой температуры пород (таблица 1) на разной глубине.

Из анализа кривых графика видно, что растительность является охлаждающим фактором (рис. 5), т.к. на глубине 50 см разница между среднегодовой температурой пород при толщине снега 0 и 8 см составляет 1 градус, а разница в толщине мохового покрова составляет 3-6 см. Согласно полученной зависимости при толщине снега 83 см и при сходной толщине мохового покрова разница в температуре должна составлять 10 градусов, однако, разница составляет 7 градусов, при этом толщина мха составляет 10 см. Таким образом, 10 см мха уменьшают среднегодовую температуру пород на 3 градуса.

Для учета толщины снежного покрова и толщины мха был рассчитан коэффициент К равный отношению этих показателей. На рисунке 6 представлен график зависимости средней температуры пород Т от коэффициента К.

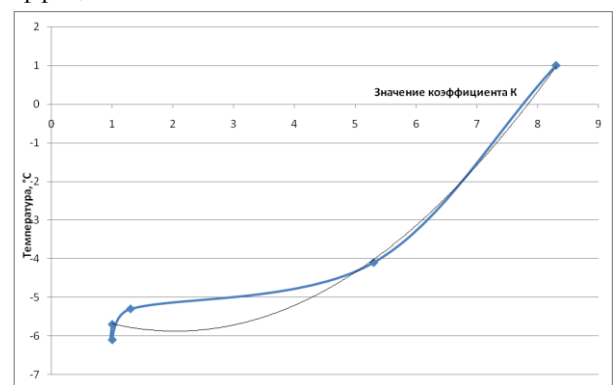


Рис. 6. График зависимости средней температуры пород от коэффициента К.

Зависимость описывается уравнением

$$T = 0.175K^2 - 0.716K - 5.144$$

Величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0.988$ . На графике присутствует отклонение в точке  $K=1$ , соответствующей скважине, расположенной на вершине песчаного холма.

Таблица 1. Среднегодовая температура пород за период 01.09.2012-31.08.2013 г.

Глубина установки датчика, см	Индекс скважины / толщина снега, см / высота растительности, см					
	CALM 10m / 0 / 0	VD_CALM / 3 / 3	VD1 / 8 / 6	VD2 / 10 / 3	LGT / 16 / 3	AG19-3 / 83 / 10
0	-5.5				-4.0	1.2
3		-5.9				
6			-5.3			
10						1.6
20					-3.6	
25			-5.0	-4.9		
50	-5.7	-6.1	-5.3		-4.1	
90						
100	-5.6	-5.7				0.4
150	-5.6	-5.2			-4.2	-0.3

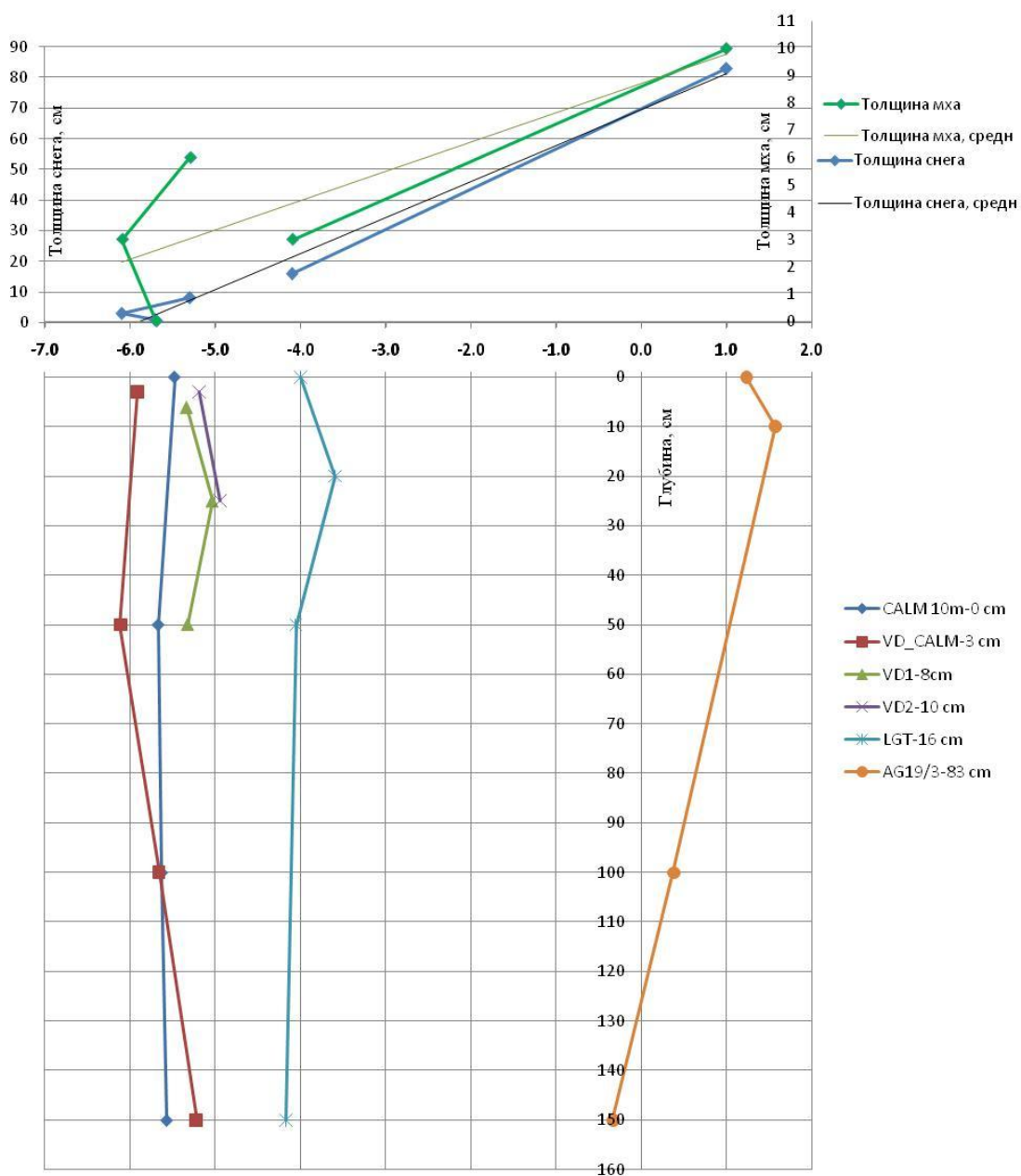


Рис. 5. Верхний график - зависимость средней температуры от толщины мохового и снежного покрова с осредненными значениями. Нижний график - зависимость среднегодовой температуры пород от высоты снежного покрова на разной глубине.

На этой вершине расположено 2 скважины: 1 – в месте полностью лишенном растительности и снега, 2 – с моховым слоем толщиной 3 см и 0 см снега. В этих скважинах, практически с одинаковыми условиями среднегодовая температура пород должны быть одинаковой, но в скважине 1 температура незначительно выше. Мы это связываем с влиянием инфильтрации атмосферных осадков. Исходя из полученной закономерности, и, имея карту распределения снежного и растительного покрова, мы можем построить карту температуры пород на данный временной срез с данными климатическими показателями на глубине 50 см. Выбор глубины обусловлен полнотой набора данных. При этом абсолютные значения температуры пород на определенной глубине отличаются от температуры на глубине нулевых годовых теплооборотов на величину градиента в мерзлой толще не более чем на 0,5°C.

Значительные колебания температуры воздуха во времени ограничивают применение полученных данных. Релевантны периоды с суммой отрицательных температур близкой к значению -3104 °C\*сут., и суммой положительных температур близкой к значению 743 °C\*сут. Величиной атмосферных осадков пренебрегаем, т.к. распределение снега, в основном, определяется силой и направлением ветра. При этом ранее установлено [Dvornikov 2015], что толщина снега в определенной точке в большей степени зависит от формы рельефа, нежели от количества выпавших осадков

На графике (рис.7) приведены кривые средней температуры пород за период 01.09-31.08 за разные годы для скважины, расположенной на склоне с высотой снега 83 см и толщиной мха 10 см. В зависимости от года на глубине от 50 см до 140 см температура положительна.

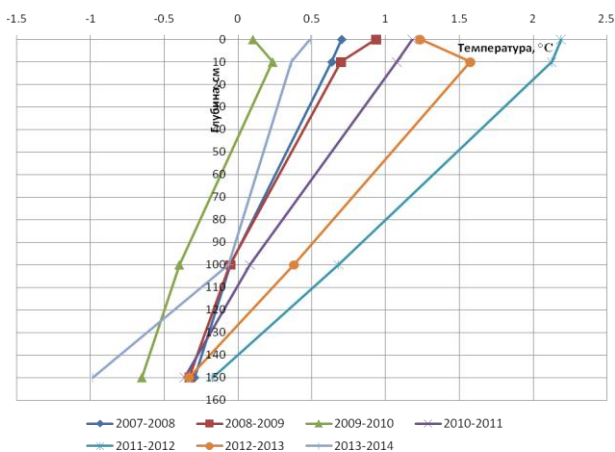


Рис. 7. График средней температуры пород за период 01.09-31.08 за разные годы.

Глубина изменяется в зависимости от средней температуры воздуха, приведенной к этому же периоду (рис.8). Но четкой зависимости нет, т.к. возможно влияние других факторов: время схода снега с поверхности, количество летних осадков.

Комплекс рассмотренных факторов является основой для детальной модели теплового поля в естественных условиях.

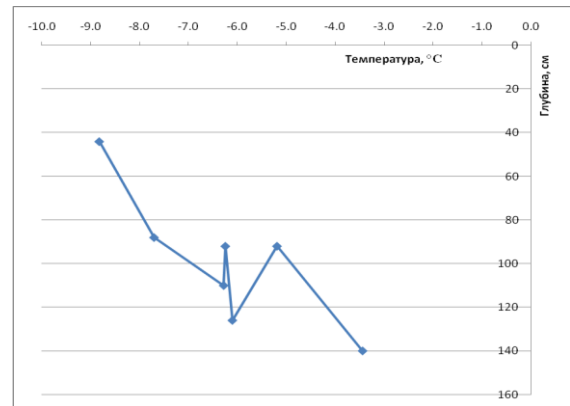


Рис. 8. Изменение глубины перехода средней температуры пород из положительных в отрицательные значения в зависимости от средней температуры воздуха.

## Заключение

Результаты исследований позволяют судить об изменении среднегодовой температуры пород в слое сезонного оттаивания-промерзания с учетом влияния снежного покрова. Установлено, что на участках, где снег отсутствует в течение года, значения среднегодовой температуры пород приближаются к значениям среднегодовой температуры воздуха. При увеличении толщины снега средняя температура пород до определенной глубины принимает положительные значения.

## Благодарности

Исследования проводятся в рамках Программы фундаментальных исследований ОНЗ РАН № 12 «Процессы в атмосфере и криосфере как факторы изменения природной среды», при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-05-91001-АНФ\_а, грантов Президента Российской Федерации для ведущих научных школ НШ-5582.2012.5 и НШ-3929.2014.5, а также международных проектов CALM и TSP.

## Литература

- Dvornikov Yu.A., Khomutov A.V., Mullanurov D.R., Ermokhina K.A., Gubarkov A.A., Leibman M.O. 2015. GIS- and field data based modeling of snow water equivalent in shrub tundra // Fennia 193: 1, 53-65 pp. DOI: 10.11143/46363
- Лейбман М.О., Хомутов А.В., Орехов П.Т., Хитун О.В., Эпштейн Х., Дж.Фрост, Волкер Д. Зональность глубины сезонного протаивания вдоль Ямальской трансекты//Десятая Международная конференция по мерзлотоведению. Том III (на русском языке), 2012
- Сошкин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р., Ненашев С.В. Термическое сопротивление снежного покрова и его влияние на промерзание грунта//Лёд и Снег, 2013, № 1 (121) с.93-103
- Хрусталев Л.Н., Давыдова И.В. Прогноз потепления климата и его учет при оценке надежности оснований зданий на вечномёрзлых грунтах//Криосфера Земли, 2007, т. XI, №2, с. 68–75

## Аналитические решения задачи образования газогидратов при нагнетании газа в пласт

Н.Г.Мусакаев

Тюменский филиал Института теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Тюмень

М.К.Хасанов

Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, Стерлитамак

### Реферат

Рассмотрен процесс образования газового гидрата в природном пласте, насыщенном газом и водой, в результате нагнетания холодного (с температурой меньшей исходной температуры пласта) газа. Построены автомодельные решения этой задачи в прямолинейно-параллельном приближении. Данные решения описывают распределения основных параметров в пористой среде при образовании газового гидрата. Показано, что в зависимости от параметров нагнетаемого газа гидратообразование может происходить как на фронтальной поверхности, так и в протяженной области.

**Ключевые слова:** Гидратообразование, пористая среда, автомодельное решение

## Analytical Solutions of the Problem of Formation of Gas Hydrates During Injection Gas into a Reservoir

N.G.Musakaev

Tyumen Branch of Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Tyumen, Russia

M.K.Khasanov

Sterlitamak Branch of Bashkir State University, Sterlitamak, Russia

### Abstract

The process of gas hydrate formation in a natural reservoir saturated with gas and water at the the injection of cold gas (the temperature of the injected gas is lower than the initial temperature of the reservoir) is considered. Self-similar solutions of this problem were built in a rectilinear-parallel approximation. These solutions explained the distribution of the main parameters in a porous medium during the formation of gas hydrates. It was shown that depending on the parameters of the injected gas hydrate formation might have occurred both on the front surface and in the extended zone.

**Key Words:** Hydrate formation, self-similar solution, porous medium

### Введение

Одной из проблем нефтегазовой отрасли является образование газовых гидратов, особенно при высоком давлении и низкой температуре. В большинстве случаев гидратообразование носит негативный характер, что обусловлено, в первую очередь, с материальными затратами на устранение гидратных отложений при добыче и транспортировке углеводородного сырья [Макогон Саркисянц 1966, Бондарев и др. 1988]. Однако процесс образования газовых гидратов можно использовать и в положительном плане, например, для увеличения емкости подземных резервуаров для хранения углеводородного газа [Кузнецов и др. 2003, Sun & Mohanty 2006]. Дело в том, что в газогидратном состоянии одну и ту же массу газа можно хранить при гораздо меньших давлениях и объемах. Для интенсификации процесса образования гидрата необходимо создавать условия, реализующие высокие удельные площади контакта газа и жидкости. Такие благоприятные условия создаются в пористых средах, где площади контакта принимают огромные значения.

Еще одним фактором, указывающим на необходимость исследования процесса гидратообразования в пористых коллекторах, является недостаточная изученность механизмов формирования гидратосодержащих отложений в толщах мерзлых пород, а также на арктическом шельфе [Якушев и др. 2003]. Математическое моделирование процесса закачки в пористую среду газа с учетом его перехода в гидратное состояние может помочь выяснить некоторые особенности образования континентальных гидратосодержащих отложений.

### Постановка задачи

Пусть пласт, заполненный в исходном состоянии газом (метаном) и водой, занимает полупространство  $x > 0$ . Давление  $p_0$  и температура  $T_0$  в пласте до нагнетания газа соответствуют термодинамическим условиям существования газа и воды в свободном состоянии. Положим, что через левую границу пласта ( $x = 0$ ) закачивается газ (метан). Давление  $p_e$  и температура  $T_e$  нагнетаемого газа соответствуют условиям образования



газового гидрата и поддерживаются на этой границе постоянными.

Примем следующие допущения. Гидрат является двухкомпонентной системой с массовой концентрацией газа  $G$ . Массовая концентрация метана в гидрате слабо зависит от давления и температуры ( $G = 0,11 - 0,13$ ). Поэтому будем пренебрегать зависимостью массовой концентрации газа в гидрате от давления и температуры. Т.к. изучаются процессы, длительность которых значительно превышает характерные времена выравнивания температур, то будем полагать, что температуры пористой среды и насыщающего вещества (газа, гидрата или воды) совпадают. Скелет пористой среды, гидрат и вода несжимаемы и неподвижны, пористость  $m$  постоянна, газ является калорически совершенным.

Система основных уравнений, описывающая процессы фильтрации и теплопереноса при образовании газового гидрата в пористой среде, представляет собой законы сохранения масс и энергии, закон Дарси, уравнение состояния для газа и зависимость коэффициента проницаемости для газа  $k_g$  от газонасыщенности  $S_g$  [Шаганов и др. 2009]. Для зон, в которых фазовый переход не происходит, указанная система должна дополняться условием постоянства гидратонасыщенности  $S_h$ . Для зоны, где образуется гидрат, записывается условие фазового равновесия:

$$T_s(p) = T_0 + T_* \ln(p/p_{s0}),$$

где  $p_{s0}$  – равновесное давление, соответствующее исходной температуре,  $T_*$  – эмпирический параметр.

При закачке холодного газа в пористый пласт возможны четыре случая. Первый случай характеризуется отсутствием гидратообразования, поэтому для решения задачи подземного хранения газов в гидратном состоянии он является неприемлемым. Во втором случае образование газового гидрата полностью происходит на фронтальной границе, а в третьем возникает протяженная (объемная) область фазовых переходов. Четвертый режим характеризуется отсутствием гидрата в ближней области, гидратообразование происходит в промежуточной области [Нурисламов Шаганов 2009].

При образовании газогидрата в пористом коллекторе в общем случае могут возникнуть три характерные области. В области, находящейся вблизи поверхности ввода газа в пласт, поры заполнены газом и гидратом и водой. В промежуточной зоне происходит образование газового гидрата, поэтому здесь поры заполнены газом, водой и гидратом. В дальней области присутствуют газ и вода. На поверхностях разрыва между этими зонами, где терпят скачки насыщенности фаз, а также потоки массы и тепла, выполняются соотношения, следующие из условий баланса массы и тепла [Шаганов и др. 2009].

### Автомоделные решения

Рассмотрим существование решений изучаемой задачи для второго случая: образование газового гидрата

полностью происходит на фронтальной границе. Промежуточная область отсутствует и возникает две характерные области. В первой (ближней) области, находящейся вблизи границы пласта, вода полностью перешла в газогидратное состояние, поэтому в порах присутствуют только газ и газогидрат, а во второй (дальней) области поры заполнены газом и водой.

Для получения аналитических решений введем автомоделную переменную:

$$\xi = x/\sqrt{\chi^{(T)}t},$$

$\chi^{(T)}$  – коэффициент температуропроводности пласта.

Для распределения давления и температуры в каждой из областей можно записать:

ближняя ( $0 < \xi < \xi_{(s)}$ ) –

$$p_{(1)}^2 = p_{(s)}^2 + \frac{(p_e^2 - p_{(s)}^2) \int_0^{\xi_{(s)}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4\eta_{(1)}}\right) d\xi}{\int_0^{\xi_{(s)}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4\eta_{(1)}}\right) d\xi}, \quad (1)$$

$$T_{(1)} = T_{(s)} + \frac{(T_e - T_{(s)}) \int_0^{\xi_{(s)}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - \frac{Pe_{(1)}}{2p_0^2} p_{(1)}^2\right) d\xi}{\int_0^{\xi_{(s)}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - \frac{Pe_{(1)}}{2p_0^2} p_{(1)}^2\right) d\xi};$$

дальняя ( $\xi_{(s)} < \xi < \infty$ ) –

$$p_{(2)}^2 = p_0^2 + \frac{(p_{(s)}^2 - p_0^2) \int_{\xi_{(s)}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4\eta_{(2)}}\right) d\xi}{\int_{\xi_{(s)}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4\eta_{(2)}}\right) d\xi}, \quad (2)$$

$$T_{(2)} = T_0 + \frac{(T_{(s)} - T_0) \int_{\xi_{(s)}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - \frac{Pe_{(2)}}{2p_0^2} p_{(2)}^2\right) d\xi}{\int_{\xi_{(s)}}^{\infty} \exp\left(-\frac{\xi^2}{4} - \frac{Pe_{(2)}}{2p_0^2} p_{(2)}^2\right) d\xi},$$

$$\eta_{(i)} = \frac{\chi_{(i)}^{(P)}}{\chi^{(T)}}, \quad \chi_{(i)}^{(P)} = \frac{k_{(i)} p_0}{m S_{g(i)} \mu_g}, \quad Pe_{(i)} = \frac{\rho_{g0} p_0 c_g k_{(i)}}{\lambda \mu_g},$$

$$k_{(i)} = k_0 S_{g(i)}^3, \quad (i = 1, 2)$$

где  $\rho_j$  и  $c_j$  ( $j = h, g, l$ ) – истинная плотность и удельная теплоемкость  $j$ -й фазы;  $\mu_g$  – динамическая вязкость газа;  $L_h$  – удельная теплота гидратообразования;  $Pe$  – число Пекле,  $\rho_c$  и  $\lambda$  – удельная объемная теплоемкость и коэффициент теплопроводности системы; нижние индексы  $h, g$  и  $l$  относятся к параметрам гидрата, газа и воды соответственно. Параметры первой и второй областей снабжены нижними индексами в скобках  $i = 1$  и  $2$ ; нижний индекс в скобках ( $s$ ) относится к параметрам на границе между этими зонами.

Система уравнений для нахождения координаты границы  $\xi_{(s)}$  может быть записана в виде:

$$\frac{dT_{(1)}}{d\xi} - \frac{dT_{(2)}}{d\xi} = \frac{mS_h \rho_h L_h}{2\rho c} \xi_{(s)}, \quad (3)$$

$$k_{(2)} \frac{dp_{(2)}^2}{d\xi} - k_{(1)} \frac{dp_{(1)}^2}{d\xi} = mS_{l0} \mu_g A \xi_{(s)} \chi^{(T)} p_{(s)},$$

$$A = \frac{\rho_l G}{(1-G)\rho_{g(s)}} - \frac{\rho_l}{(1-G)\rho_h} + 1.$$

Из уравнений (3) после подстановки решений (1) и (2) каким-либо численным методом могут быть найдены координата границы фазовых переходов  $\xi_{(s)}$  и значения параметров на ней.

### Условие возникновения протяженной области образования газогидрата

На рис. 1 представлены распределения температуры и давления при нагнетании метана с температурой  $T_e = 278$  К в пласт с начальным давлением  $p_0 = 4$  МПа и исходной водонасыщенностью  $S_{l0} = 0,2$ . Для остальных параметров, характеризующих систему, приняты следующие значения:  $m = 0,1$ ,  $G = 0,12$ ,  $T_0 = 280$  К,  $T^* = 10$  К,  $p_{s0} = 5,5$  МПа,  $k_0 = 10^{-14}$  м<sup>2</sup>,  $R_g = 520$  Дж/(К·кг),  $\rho_h = 900$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_l = 1000$  кг/м<sup>3</sup>,  $c_h = 2500$  Дж/(К·кг),  $c_l = 4200$  Дж/(К·кг),  $c_g = 1560$  Дж/(К·кг),  $\lambda_s = 2$  Вт/(м·К),  $\lambda_h = 2,11$  Вт/(м·К),  $\lambda_l = 0,58$  Вт/(м·К),  $\mu_g = 10^{-5}$  кг/(м·с),  $L_h = 5 \cdot 10^5$  Дж/кг.

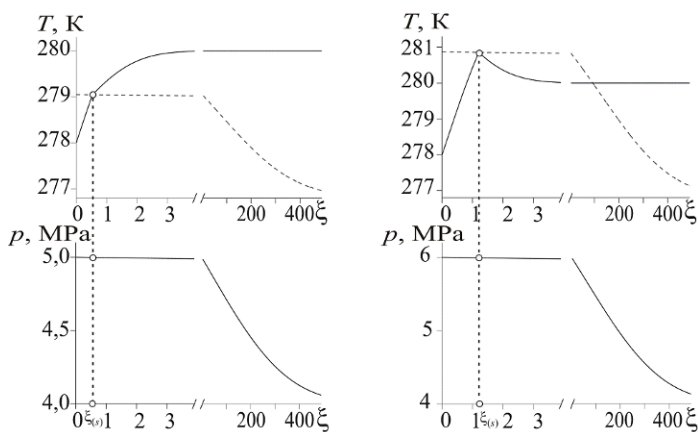


Рис.1. Изменение по автомодельной координате  $\xi$  температуры пласта, равновесной температуры и давления при  $p_e = 5$  (слева) и 6 МПа (справа),  $T_e = 278$  К. Штриховая линия отражает равновесную температуру, соответствующую представленному распределению давления.

Из расположения кривых на левом рисунке видно, что при нагнетании метана под давлением  $p_e = 5$  МПа температура пласта перед фронтом гидратообразования ниже равновесной температуры, а за фронтом – выше этой температуры. Следовательно, в этом случае решение с фронтальной поверхностью образования гидрата является непротиворечивым. Если закачивать газ при той же температуре  $T_e = 278$  К, но при давлении  $p_e = 6$  МПа (правый рисунок), температура пласта за фронтом

гидратообразования опускается ниже равновесной температуры (штриховая линия), что соответствует переохлаждению воды в этой области. Следовательно, в этом случае модель с фронтальной поверхностью образования гидрата не позволяет построить физически непротиворечивое решение.

Из анализа рис.1 можно сделать вывод о том, что существует некоторое значение давления нагнетания в пласт газа  $p_{cr}$ , которое назовем критическим давлением нагнетания газа. Если давление нагнетания газа больше  $p_{cr}$ , то необходимо рассматривать объемную область образования гидрата.

Такая область возникает в том случае, когда на границе фазовых переходов ( $\xi = \xi_{(s)}$ ) выполняется условие

$$\frac{dT_{(2)}}{d\xi} < \frac{dT_{(2)s}}{d\xi},$$

где  $T_{(2)s}$  – температура гидратообразования, соответствующая давлению  $p_{(2)}$ .

Используя граничные условия (3), получаем условие возникновения протяженной области:

$$\frac{dT_{(1)}}{d\xi} - \frac{S_{h(1)} \Delta T}{2} \xi_{(s)} < \frac{T^*}{2k_{(2)} p_{(s)}^2} \left( k_{(1)} \frac{dp_{(1)}^2}{d\xi} + KS_{h(1)} \xi_{(s)} \right),$$

где  $\Delta T = \frac{m\rho_h L_h}{\rho c}$ ,  $K = m\mu_g \chi^{(T)} p_{(s)} A$ .

На рис.2 представлена зависимость  $p_{cr}$  от  $T_0$  при нагнетании газа с температурой  $T_e = 278$  К в пласт с исходным давлением  $p_0 = 3$  МПа. Видно, что при нагнетании холодного газа ( $T_e < T_0$ ) с повышением исходной температуры пласта величина  $p_{cr}$  растет, причем в случае более высокой проницаемости пласта (кривая 1) критическое давление  $p_{cr}$  с высокой степенью точности совпадает с равновесным давлением  $p_{s0}$ .

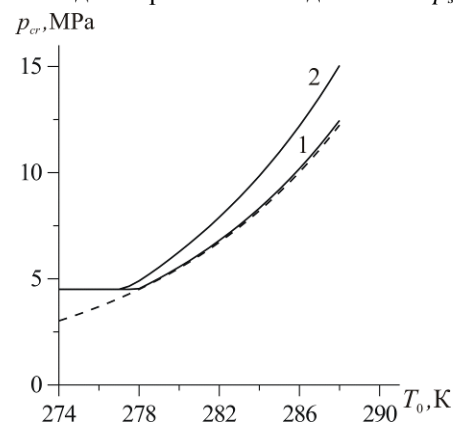


Рис.2. Изменение критического давления нагнетания газа  $p_{cr}$  в зависимости от исходной температуры пласта  $T_0$  при разных значениях абсолютной проницаемости пласта  $k_0$ . Линии 1 и 2 соответствуют  $k_0 = 10^{-15}$  и  $10^{-17}$  м<sup>2</sup>. Штриховая линия отражает равновесное давление  $p_{s0}$ , соответствующее исходной температуре пласта.

При нагнетании теплого газа ( $T_e > T_0$ ) в высокопроницаемый пласт давление  $p_{cr}$  совпадает со значением равновесного давления  $p_s(T_e)$ , соответствующего температуре нагнетаемого газа, т.е. со

значением минимального давления нагнетания газа, при котором возможно образование области, насыщенной гидратом. Следовательно, при нагнетании теплого газа в высокопроницаемый пласт фронтальный режим образования гидрата является невозможным.

Еще одним параметром, влияющим на величину давления  $p_{cr}$ , являются проницаемость пласта. Чем выше проницаемость, тем ближе значение критического давления к значению соответствующего равновесного давления (рис.3). При уменьшении проницаемости величина давления  $p_{cr}$  возрастает. Как показывают расчеты, при значениях абсолютной проницаемости, близких к величинам порядка  $10^{-19} \text{ м}^2$ , давление  $p_{cr}$  стремится к бесконечности. Следовательно, при очень низкой проницаемости пласта режим с фронтальной поверхностью образования гидрата реализуется при любом давлении нагнетания газа.

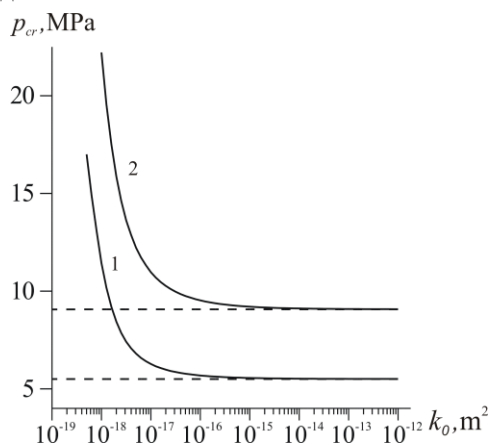


Рис.3. Зависимость критического давления нагнетания газа  $p_{cr}$  от абсолютной проницаемости пласта  $k_0$  при разных значениях исходной температуры пласта  $T_0$ . Линии 1 и 2 соответствуют  $T_0 = 280$  и  $285$  К. Штриховые линии, параллельные оси абсцисс и являющиеся горизонтальными асимптотами сплошных кривых, показывают равновесные давления  $p_{so}$ , соответствующие двум исходным температурам пласта.

Т.о. из расчетов следует, что в зависимости от параметров нагнетаемого газа и параметров, характеризующих исходное состояние системы возможны два принципиально различных вида решения. Для величины давления нагнетания газа  $p_e$  существует некоторое максимальное значение, при превышении которого невозможно в рамках фронтальной модели построить непротиворечивое решение. Это максимальное значение зависит от проницаемости и исходной температуры. Для значений проницаемости характерных для реальных пластов  $k_0 = 10^{-12} \div 10^{-15} \text{ м}^2$  величина этого максимального давления с высокой степенью точности совпадает с величиной равновесного давления  $p_{so}$ , соответствующего исходной температуре.

Этот результат можно получить также из следующих физических соображений. Как следует из рис. 1 при рассматриваемых значениях проницаемости давление на

фронте фазового перехода приблизительно совпадает с давлением, под которым нагнетается газ. В случае  $p_e > p_{so}$  температура на фронте превышает величину исходной температуры (температуры на бесконечности). Поэтому во второй зоне температура пласта постепенно снижается. При этом коэффициент пьезопроводности  $\chi^{(p)}$  значительно выше коэффициента температуропроводности  $\chi^{(T)}$ . Например, для значений параметров, соответствующих рис. 1:

$$\chi^{(p)} = \frac{k p_0}{m S_g \mu_g} = 0,05 \text{ м}^2 / \text{с}, \quad \chi^{(T)} = \frac{\lambda}{\rho c} = 10^{-5} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Поэтому температура пласта во второй зоне снижается быстрее, чем давление и равновесная температура образования гидрата, которая зависит от этого давления. Это приводит к возникновению в рамках фронтальной модели ситуации переохлаждения воды за фронтом. Следовательно, модель с фронтальной поверхностью образования гидрата физически непротиворечиво описывает процесс только в случае закачки газа под давлением, не превышающим величину равновесного давления, соответствующего исходной температуре. Для описания процесса образования гидрата при закачке газа под более высоким давлением необходимо строить модель с объемной областью образования гидрата.

## Литература

- Бондарев Э.А., Васильев В.И., Воеводин А.Ф. и др. 1988. Термогидродинамика систем добычи и транспорта газа. – Новосибирск: Наука, 1988. – 272 с.
- Кузнецов Ф.А., Истомина В.А., Родионова Т.В. 2003. Газовые гидраты: исторический экскурс, современное состояние, перспективы исследований // Российский химический журнал, 2003, Т. XLVII, №3, С.5-18.
- Макогон Ю.Ф., Саркисянц Г.А. 1966. Предупреждение образования гидратов при добыче и транспорте газа. – М.: Недра, 1966. – 186 с.
- Нурисламов О.Р., Шагапов В.Ш. 2009. Нагнетание газа во влажную пористую среду с образованием газогидрата // Прикладная математика и механика, 2009, Т.76, Вып.5, С.809-823.
- Шагапов В.Ш., Хасанов М.К., Мусакаев Н.Г. 2008. Образование газогидрата в пористом резервуаре, частично насыщенном водой, при инъекции холодного газа // Прикладная механика и техническая физика, 2008, Т.49, №3, С.137-150.
- Якушев В.С., Перлова Е.В., Махонина Н.А. и др. 2003. Газовые гидраты в отложениях материков и островов // Российский химический журнал, 2003, Т. XLVII, №3, С.80-90.
- Sun X. & Mohanty K.K. 2006. Kinetic simulation of methane hydrate formation and dissociation in porous media // Chemical Engineering Science, 2006, V.61, No.11: 3476-3495.

## Изменение морфофизиологических показателей яровой пшеницы под влиянием бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород

М.В.Нарушко

*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень*

А.М.Субботин, С.А.Петров

*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

В.А.Мальчевский

*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень*

*ФГБОУ ВПО «Тюменская государственная медицинская академия», Тюмень*

Н.А.Боме

*Тюменский государственный университет, Институт биологии, г.Тюмень.*

### Реферат

Показано, что всхожесть, морфометрические показатели проростков мягкой яровой пшеницы сорта Иргина под влиянием штаммов бактерий рода *Bacillus* из многолетнемерзлых пород значительно выше по сравнению со штаммом 26Д из биопрепарата «Фитоспорин-М». Высказано предположение, что повышение морфофизиологических показателей яровой пшеницы является следствием стимуляции системы фотосинтеза и, соответственно, увеличения эффективности поглощения световой энергии.

**Ключевые слова:** биопрепараты; микроорганизмы; морфометрические показатели; пигменты фотосинтеза; яровая пшеница

### Change of Morphophysiological Indicators of Spring Wheat under the Influence of Bacteria Isolated from Permafrost

M.V.Narushko

*Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia*

A.M.Subbotin, S.A.Petrov

*Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

V.A.Malchevskiy

*Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia*

*Tyumen State Medical Academy, Tyumen, Russia*

N.A.Bome

*Tyumen State University, Institute of Biology, Tyumen*

### Abstract

It is shown that germination, seedling morphometric parameters of soft spring wheat varieties Irgina under the influence of bacterial strains of the genus *Bacillus* of permafrost is significantly higher compared to the 26D strain of the biological product "Phytopsporin-M." It is suggested that the increase in morphophysiological indicators of spring wheat is the result of stimulation system of photosynthesis and, consequently, increase the efficiency of absorption of light energy.

**Key Words:** biological products; microorganisms; morphometric parameters; pigments of photosynthesis; summer wheat.

### Введение

В настоящее время одним из основных способов повышения урожайности зерновых культур является использование минеральных удобрений и химических средств защиты растений, что неблагоприятно сказывается на экологическом состоянии окружающей среды. Выходом из данной проблемы может стать создание фитостимуляторов на основе бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород (ММП).. Бактерии, выделенные из ММП, практически не

исследованы по своему биологическому влиянию, как на растения, так и на другие современные организмы. По этому вопросу имеются лишь первые работы [Brushkov *et al.* 2011; Субботин и др. 2013], свидетельствующие об изменении адаптивного потенциала лабораторных животных.

Цель данного исследования - изучить влияние некоторых штаммов бактерий рода *Bacillus*, выделенных из ММП, на морфофизиологические параметры мягкой яровой пшеницы сорта Иргина.



## Материал и методы

Исследование проведено в 2012 г. на семенах яровой мягкой пшеницы генерации 2011 года сорта Иргина (*Triticum aestivum*), районированного в Тюменской области.

В работе использовали штаммы микроорганизмов рода *Bacillus*, выделенные из ММП и идентифицированные методом сиквенса по 16S RNA: В1М – *B. sp. (cereus?)*, В1Т – *B. megaterium*, В2Т – *B. sp. (megaterium?)*, В1СН – *B. sp. (megaterium?)*, В2СН – *B. sp. (pumilus)*. В качестве контроля сравнения использовали штамм *Bacillus subtilis* 26Д, выделенный из коммерческого бактериального препарата «Фитоспорин-М». Препарат «Фитоспорин-М» обогащен ионами металлов, микроэлементами и гуматами [Мубинов 2007].

Штаммы бактерий, высевали в 5 пробирок на скошенный питательный агар и культивировали в термостате 24 часа при  $t=26^{\circ}\text{C}$ . Затем производили смыв микроорганизмов из каждой пробирки 5 мл дистиллированной воды. После определения количества клеток бактерий в исходной суспензии плотность культур доводили до рабочей концентрации в  $1 \times 10^7$  микробных клеток в 1мл дистиллированной воды (м.к./мл).

Семена пшеницы ( $n=100$ ) помещали в 50 мл бактериальной суспензии на 2 часа. Для увеличения адгезии микроорганизмов в раствор для обработки семян добавляли сахарозу из расчета 50 г на 1 л дистиллированной воды. Посевы проводились в песок, двукратно прокалённый при  $t=250^{\circ}\text{C}$  в течение часа. В отдельные вегетационные сосуды объемом 0,5 л высевали по 25 семян и однократно поливали 50 мл бактериальной суспензией. Семена проращивали в лабораторных условиях при температуре  $22 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . На 3 сутки определяли энергию прорастания, на 7 сутки – лабораторную всхожесть семян, на 20 сутки эксперимента производили измерения показателей длины и сырой массы корней и побегов проростков, длины coleoptilia. Количество хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре ПЭ-5400УФ. при длинах волн,  $\lambda=662, 644$  и  $440$  нм.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с помощью программы «SPSS ver. 11.5.for Windows».

## Результаты и обсуждение

Анализ энергии прорастания и лабораторной всхожести семян яровой пшеницы при обработке штаммами микроорганизмов из ММП показал, что различные штаммы оказывают влияние в различной степени.

Энергия прорастания в интактном контроле составила 29%, в варианте с препаратом «Фитоспорин-М» - 76%, со штаммом *B. subtilis* 26Д – 24%. При этом энергия прорастания в вариантах со штаммами В1М и В1СН была достоверно выше, чем в интактном контроле, а также в трех опытных вариантах со штаммами В1СН, В1Т и В1М и относительно контроля сравнения (штамм *B. subtilis*

26Д). Лабораторная всхожесть в интактном контроле составила 83%, в варианте с препаратом «Фитоспорин-М» - 97%, со штаммом *B. subtilis* 26Д - 52%. В варианте со штаммом В1СН этот показатель был выше интактного контроля и имел максимальное значение среди всех опытных вариантов – 95%. Относительно контроля сравнения лабораторная всхожесть семян яровой пшеницы сорта Иргина во всех опытных вариантах была значительно выше. Обращает внимание тот факт, что штамм *B. subtilis* 26Д вызывал значительную задержку прорастания семян по сравнению с другими вариантами.

Учитывая, что в состав «Фитоспорин-М», входят дополнительные компоненты, можно предположить, что именно добавки в большей мере стимулируют ростовые процессы в семенах.

Установлено, что исследованные штаммы В1СН и В1М оказали выраженный стимулирующий эффект на энергию прорастания семян растений, штамм В1СН существенно повышал всхожесть семян. Штамм *B. subtilis* 26Д не оказал явного влияния на посевные качества семенного материала.

Оценка влияния исследуемых штаммов бактерий на процесс роста и развития проростков выявила увеличение длины побега до 20%, длины корня до 15 %, длины coleoptilia до 25% относительно интактного контроля.

При анализе развития надземной части проростков отмечено максимальное увеличение длины побега в варианте со штаммом В1М на 20% относительно интактного контроля и на 35% относительно контроля сравнения. Длина побега под влиянием штамма В1Т увеличилась на 10% по сравнению с интактным контролем, и на 20% относительно контроля сравнения.

Одним из показателей интенсивности роста и развития проростков является длина и масса корней. В варианте, обработанном штаммом В1М, наблюдалось повышение, а в варианте со штаммом В2СН, напротив, снижение длины корней относительно интактного контроля. Следует отметить, что во всех опытных вариантах, за исключением В2СН, длина корней значительно увеличена по отношению к контролю сравнения. Масса корней во всех опытных вариантах значительно меньше, чем в интактном контроле, однако относительно контроля сравнения в трёх опытных вариантах данный показатель был достоверно выше.

Учитывая, что длина coleoptilia является одним из важных признаков, от которого в значительной степени зависит полевая всхожесть семян, нами произведена оценка влияния микроорганизмов из ММП на данный показатель. Установлено, что у проростков, обработанных штаммами В1СН, В2СН и В1Т наблюдалось достоверное увеличение длины coleoptilia относительно интактного контроля и контроля сравнения.

Таким образом установлено, что штаммы В1М и В1Т оказали значимое положительное влияние на морфометрические показатели проростков яровой пшеницы.

Известно, что пигменты (хлорофиллы *a* и *b*, каротиноиды) играют решающую роль в процессе

фотосинтеза и, в конечном итоге, продуктивности растений в целом. В ходе опыта было установлено, что замачивание семян в бактериальной суспензии перед их посевом приводило к изменению содержания пигментов в проростках пшеницы. Под влиянием штамма В1Т содержание хлорофилла *a* повышалось на 10% относительно интактного контроля и на 50% относительно контроля сравнения. Содержание хлорофилла *a* повышалось также при обработке растений штаммом В2СН на 4% по сравнению с интактным контролем и на 40% относительно контроля сравнения. Под влиянием штамма В1СН наблюдалось снижение содержания пигмента по отношению к контролям. В варианте со штаммом В1М концентрация хлорофилла *a* относительно контроля сравнения была выше на 30%. Между вариантом В2Т и интактным контролем достоверных различий по содержанию пигмента выявлено не было, но относительно контроля сравнения концентрация хлорофилла *a* повышалась на 37%. При этом установлено, что препарат «Фитоспорин-М» не оказывает влияния на содержание хлорофиллов *a* и *b*, а под влиянием штамма *B. subtilis* 26Д, их концентрация снижается относительно интактного контроля.

Содержание хлорофилла *b* было увеличено под влиянием всех штаммов микроорганизмов из ММП во всех случаях относительно контролей. Максимальное значение наблюдалось в варианте со штаммом В2СН, где содержание хлорофилла *b* превышало уровень интактного контроля в 2 раза, а уровень контроля сравнения практически в 3 раза. Полученные данные могут свидетельствовать об активации системы фотосинтеза, в то время как под влиянием штамма *B. subtilis* 26Д этот показатель достоверно снижен относительно интактного контроля.

Каротиноиды являются важным компонентом пигментной системы. Они переносят электроны в возбужденном состоянии к фотохимическим реакционным центрам, поглощая свет в той области спектра, в которой не способен поглощать хлорофилл [Зотикова и др. 2001, MacFarlena 2002] и защищают пигменты и ненасыщенные жирные кислоты липидов от окислительного повреждения, устраняя избыток активных форм кислорода [McKersie 1993, Седых Игнатъев 2001].

В исследовании установлено, что количественное содержание каротиноидов в проростках семян под влиянием всех штаммов микроорганизмов из ММП (за исключением штамма В1СН) увеличено относительно интактного контроля, контроля сравнения, а также препарата «Фитоспорин-М».

Таким образом, в опытных вариантах со штаммами В1М, В2Т, В2СН и В1Т отмечено повышение общего содержания хлорофиллов и каротиноидов и увеличение отношения суммы хлорофиллов к каротиноидам.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при предпосевной обработке семян пшеницы штаммами бактерий рода *Bacillus*, выделенными нами из ММП, наблюдается общая активация фотосинтетической системы и защитных функций растений, что, очевидно, имеет существенное положительное значение на ранних этапах их развития. Учитывая особенности влияния различных штаммов бактерий, выделенных из ММП, на морфофизиологические и биохимические параметры растений на их основе можно разработать биопрепараты направленного или комплексного действия, используя для этого комбинации штаммов.

## Литература

- Зотикова А. П., Воробьева Н.А., Соболевская Ю.С. Динамика содержания и роль каротиноидов хвои кедра сибирского в высокогорье // Вестник Башкирского университета. 2001. № 2. С. 67–69.
- Мубинов И.Г. Реакции пшеницы на действие клеток эндофитного штамма 26Д *Bacillus subtilis*-основы биофунгицида фитоспорин. Дисс...канд. биол. наук. Уфа, 2007. 130 с.
- Седых В.Н., Игнатъев Л.А. Реакция культур кедра и пихты на воздействие отходов бурения нефтяных скважин. Дальние последствия // Сибирский экологический журнал. 2001. № 3. С. 355-360
- Субботин А.М., Каленова Л.Ф., Бажин А.С. Влияние некоторых штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород, на иммунофизиологические показатели мышей // Вестник Уральской медицинской академической науки. 2012. № 4. С. 164
- Brouchkov A. V., Melnikov V. P., Sukhovei Yu. G. et al. Relict Microorganisms of Cryolithozone as Possible Objects of Gerontology // Advances in Gerontology. 2011. Vol. 1, № 1. P. 39–44.
- Bryan D. McKersie. Effect of nutrition of maturation of alfalfa (*Medicago sativa* L.) somatic embryos // Plant Science. 1993. Vol. 91. P.87-95.
- MacFarlena G.R. Leaf biochemical parameters in *Avicennia marina* (Forsk) Vierh as potential biomarkers of heavy metal stress in estuarine ecosystems // Mar. Pollut. Bull. 2002. № 3. P. 244-256.

## Изучение влияния нанопорошков на индукционные времена гидратообразования

А.Н.Нестеров, А.М.Решетников

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

А.Ю.Манаков

*Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск*

### Реферат

В данной работе мы изучили влияние нанопорошков оксидов кремния, алюминия, цинка, титана и магния на гидратообразование природного газа. Было обнаружено, что добавка небольшого количества данных нанопорошков способна сократить индукционное время гидратообразования по сравнению с чистой водой. Показано, что добавка нанопорошков не влияет на растворимость природного газа в воде и равновесные условия образования гидратов природного газа.

**Ключевые слова:** Газовые гидраты; индукционный период; нанопорошки; промоутеры гидратообразования.

### Study of the Effect of Nanopowders on the Induction Time of Hydrate Formation

A.N.Nesterov, A.M.Reshetnikov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

A.Yu.Manakov

*Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia*

### Abstract

In this work we studied the effect of nano oxides of silicon, aluminum, zinc, titanium and magnesium of hydrate formation natural gas. It has been found that the addition of small amounts of these powders can reduce the induction time for of hydrate formation compared to pure water. It has been shown that the additive does not affect the nanopowders gas solubility in water and the equilibrium conditions for the formation of natural gas hydrates.

**Key Words:** Gas hydrates; induction time; nanopowders; promoters of hydrate formation

### Введение

В последнее время наблюдается значительный интерес к практическому использованию процесса гидратообразования в технологиях транспорта и хранения природного газа, а также в процессах разделения смесей таких газов как метан и  $\text{CO}_2$  или  $\text{CO}_2$  и водород. [Keita et al. 2011, Ricaurte et al. 2013, Eslamimanesh et al. 2012, Horiguchi et al. 2011] Гидратные технологии могут быть использованы для утилизации промышленных выбросов диоксида углерода и их захоронения в форме гидратов  $\text{CO}_2$ . Однако внедрение газогидратных технологий сдерживается низкой эффективностью существующих методов получения газовых гидратов. Для ее повышения необходимо решить проблемы, связанные с большими индукционными временами гидратообразования, низкой скоростью роста газовых гидратов и малой степенью превращения воды в гидрат.

Цель исследований: экспериментально оценить влияния добавки нанопорошков, на индукционный период гидратообразования газов.

### Экспериментальная часть

#### Материалы и оборудование

Для получения гидратов использовали природный газ Уренгойского месторождения (об. %:  $\text{C}_1$ -98,06,  $\text{C}_2$ - 0,46,  $\text{C}_3$ -0,24,  $\text{C}_4$ -0,06,  $\text{C}_{5+\text{выше}}$  -0,02,  $\text{CO}_2$ -0,15,  $\text{N}_2$ -1.01) и дистиллированную воду. В качестве промоутеров гидратообразования рассмотрены семь нанопорошков оксидов различной природы – два оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ -1 и  $\text{SiO}_2$ -2), два оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -1 и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -2), оксиды титана ( $\text{TiO}_2$ ), цинка ( $\text{ZnO}$ ) и марганца ( $\text{MgO}$ ).

Гидратообразование проводили в цилиндрическом реакторе объемом  $50 \text{ см}^3$ , изготовленном из нержавеющей стали. Для этого в реактор загружали 20 г воды или водной суспензии нанопорошка (концентрация добавки 1,18 мас.%) и после вакуумирования заправляли газом. Начальное давление  $P$  и температура  $T$  в реакторе равнялись 8 МПа и 295-298 К, соответственно. После достижения равновесной растворимости газа в жидкости, реактор устанавливался на магнитную мешалку в камере воздушного термостата, предварительно охлажденной до температуры  $0,5^\circ\text{C} \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Схема экспериментальной установки показана на рисунке 1.

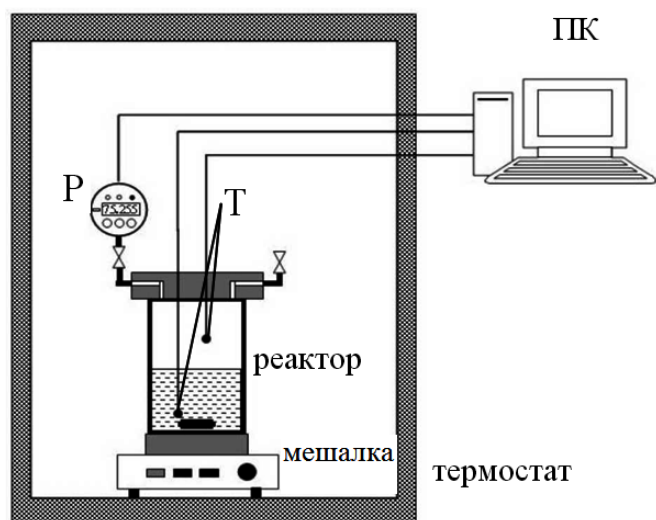


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

### Определение индукционного периода гидратообразования.

Все эксперименты по получению гидратов проводили в режиме изохорного охлаждения при постоянном перемешивании содержимого реактора со скоростью (500 об/мин). Типичные кривые изменения давления и температуры в реакторе при его изохорном охлаждении, а также текущее равновесное давление гидратообразования природного газа при данной температуре в реакторе, рассчитанное по программе CSMGem, приведены на рисунке 2.

О гидратообразовании судили по изменению количества газа в газовой шапке в реакторе. Для расчета количества газа в газовой шапке в любой момент времени использовали уравнение состояния для реального газа

$$n_t = \left( \frac{PV}{zRT} \right)_t \quad (1)$$

При изохорном охлаждении количество газа в шапке реактора уменьшается в результате его поглощения при растворении и образовании гидратов. На рисунке 3 представлены кинетические кривые поглощения газа при изохорном охлаждении реактора. Верхняя кривая – общий объем поглощенного газа (при нормальных условиях), нижняя кривая – объем поглощенного газа за вычетом растворенного газа. Момент времени  $t_n$  принимали за начало гидратообразования.

Индукционный период гидратообразования  $\tau_i$  определяли как время с момента пересечения равновесной кривой “гидрат природного газа–вода (водная суспензия нанопорошков)–газ” ( $t_e$ , рис.2.) и до обнаружения гидратов в системе ( $t_n$ , рис.3),  $\tau_i = t_n - t_e$ . Момент времени  $t_e$  отвечает появлению в системе движущей силы гидратообразования  $\Delta P$ , которая достигала своего постоянного значения в конце охлаждения, рисунке 2. Кривые охлаждения, представленные на рисунке 2, в целом имели одинаковый вид как для гидратообразования природного газа в чистой воде, так и в водных суспензиях нанопорошков оксидов.

После перехода в гидрат примерно 3-5 % воды, реактор извлекали из термостата и нагревали при комнатной температуре в течение 1,5-2 часа при постоянном перемешивании для разложения гидратов.

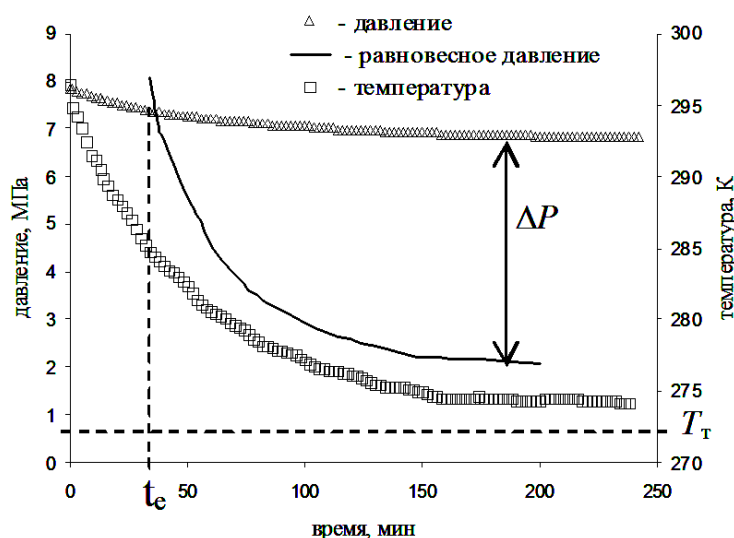


Рис. 2. Изменение температуры, давления и текущего равновесного давления гидратообразования природного газа при данной температуре при изохорном охлаждении реактора.  $\Delta P$ - движущая сила гидратообразования, определяемая как разность давления в реакторе и равновесного давления гидратообразования при данной температуре в реакторе.  $T_T$  – температура в камере термостата.

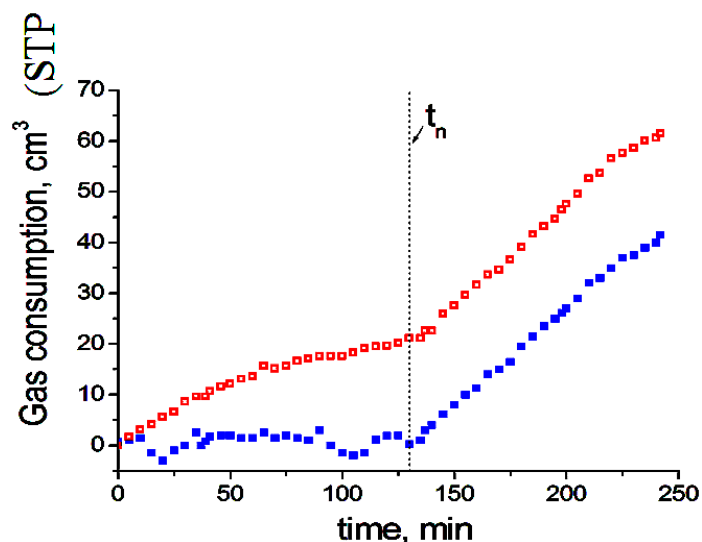


Рис. 3. Поглощение газа при изохорном охлаждении реактора. Нижняя кривая не учитывает поглощение газ в результате его растворения при охлаждении.

При этом каждый раз давление в реакторе восстанавливалось до величины начального давления  $P_0$  с учетом равновесной растворимости газа в воде. Затем реактор снова помещали в термостат для изохорного охлаждения и определяли новое значение индукционного периода гидратообразования.



## Результаты и их обсуждение

Результаты определения индукционных периодов гидратообразования природного для чистой воды и воды с добавкой нанопорошков различных оксидов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Индукционные периоды гидратообразования природного газа

№ серии	Образец	Индукционный период ( $\tau_i$ ), мин.	$\tau_{cp}=(\sum\tau_i)/n \pm (\sum \Delta\tau_i )/n$ , мин.
1	чистая вода	100, 114, 117, 85, 110	$105 \pm 10$
2	чистая вода	104, 110	$107 \pm 3$
3	добавка $\text{SiO}_2$ -1	105, 81, 56, 49, 84, 70, 44	$70 \pm 17$
4	добавка $\text{SiO}_2$ -2	84, 79, 81, 47, 90, 79, 71	$76 \pm 10$
5	добавка $\text{Al}_2\text{O}_3$ -1	129, 119, 114, 165, 139, 95, 116, 115	$124 \pm 15$
6	добавка $\text{Al}_2\text{O}_3$ -2	65, 33, 30, 23, 31, 31, 30	$35 \pm 9$
7	добавка $\text{TiO}_2$	115, 54, 38, 35, 44, 60, 60	$58 \pm 17$
8	добавка $\text{ZnO}$	65, 44, 53, 101, 122, 101	$81 \pm 24$
9	добавка $\text{MgO}$	35, 26, 32, 34, 33, 29, 38	$32 \pm 3$
10	добавка $\text{MgO}$	35, 33, 40, 32	$35 \pm 3$

Серии опытов 1 и 2 с дистиллированной водой – это серии для двух разных загрузок. Опыты проведены с целью проверки воспроизводимости результатов измерения индукционного периода для разных загрузок. Полученные данные свидетельствуют, что выбранная методика обеспечивает получение воспроизводимых результатов измерения индукционных периодов гидратообразования несмотря на вероятностный характер нуклеации гидратов.

Серии опытов 9 и 10 проведены с целью оценки влияния «старения» суспензии на результаты измерения индукционного периода гидратообразования. Серии проводились для одной и той же загрузки реактора с интервалом между сериями 30 дней. Из результатов опытов следует, что «старение» суспензии не влияет на индукционный период гидратообразования.

Для дополнительного изучения влияния концентрации твердой фазы (нанопорошки оксидов) на кинетику гидратообразования в качестве добавки нами выбран оксид магния. Данная добавка в концентрации 1,18 вес.% обеспечивает по сравнению с чистой водой уменьшение индукционного времени гидратообразования в три раза –  $32 \pm 3$  мин для водной суспензии  $\text{MgO}$  при  $105 \pm 10$  мин для дистиллированной воды. Примерно такое же влияние на

индукционное время гидратообразования оказывает добавка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -2. Однако, ускоряя нуклеацию гидратной фазы, добавка  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -2 по сравнению с чистой водой даже несколько уменьшает скорость роста гидратов после их нуклеации (рис. 4). В то же время мы наблюдали, что добавка  $\text{MgO}$  не только уменьшает индукционное время, но и увеличивает скорость роста гидратов. Дополнительные визуальные наблюдения гидратообразования природного газа в водной суспензии  $\text{MgO}$  в реакторе, оборудованном смотровыми окнами, показало, что механизм их роста аналогичен росту газовых гидратов с добавкой ПАВ. По нашему мнению, данное явление заслуживает специального исследования.

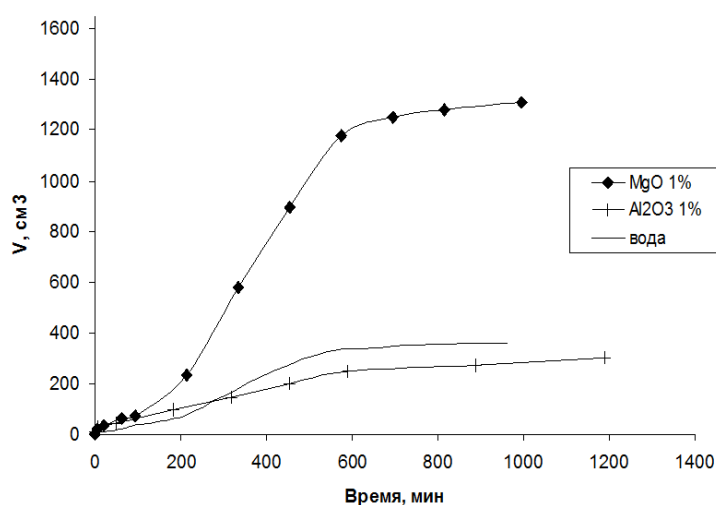


Рис. 4. Влияние добавки твердой фазы на поглощение природного газа при изохорном гидратообразовании на стадии роста гидратов.

Влияние концентрации  $\text{MgO}$  на индукционный период гидратообразования показано в таблице 2 и на рисунке 5.

Таблица 2. Индукционные периоды гидратообразования природного газа для водных суспензий  $\text{MgO}$  различной концентрации.

Образец	Индукционный период ( $\tau_i$ ), мин.	$\tau_{cp}=(\sum\tau_i)/n \pm (\sum \Delta\tau_i )/n$ , мин.
добавка $\text{MgO}$ 0,11%	40, 36, 38, 45, 45,30	$39 \pm 4$
добавка $\text{MgO}$ 1,18% (Табл.1, сер.9)	35, 26, 32, 34, 33, 29, 38	$32 \pm 3$
добавка $\text{MgO}$ 1,18% (Табл.1, сер.10)	35, 33, 40, 32	$35 \pm 3$
добавка $\text{MgO}$ 5%	34, 32, 25, 30, 22	$29 \pm 4$

Из представленных данных следует, что добавка MgO в концентрациях выше 0,11 мас.% не оказывает заметного влияния на индукционный период гидратообразования природного газа.

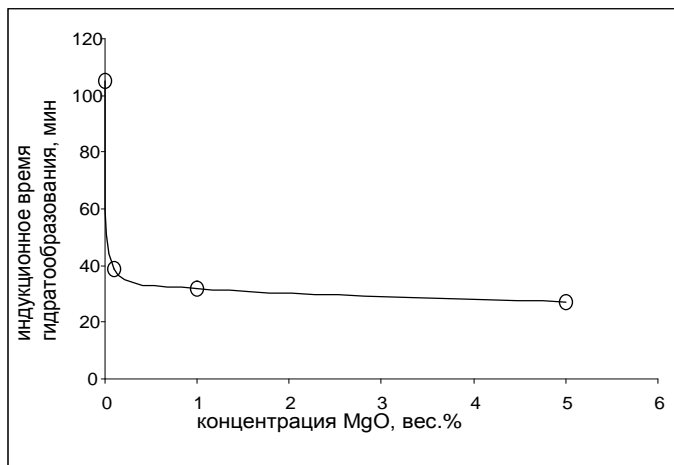


Рис. 5. Индукционные периоды гидратообразования природного газа в водной суспензии MgO различной концентрации.

### Выводы

1. Установлено, что добавка используемых в данной работе нанопорошков в количестве порядка 1 масс.% не влияет на растворимость природного газа в воде и равновесные условия образования гидратов природного газа.

2. Впервые продемонстрирована возможность резкого понижения индукционного периода гидратообразования в реакции между жидкой водой и газообразным гидратообразователем путем добавки в воду небольшого количества нанопорошков оксидов металлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта президента РФ для ведущих научных школ (грант НШ 3929.2014.5) и программы междисциплинарных исследований СО РАН (проект №144).

### Литература

- Eslamimanesh A., Mohammadi A.H., Richon D., Naidoo P., Ramjugernath D. 2012. Application of gas hydrate formation in separation processes: a review of experimental studies, *J. Chem. Thermodyn.* 26, 62–71.
- Horiguchi K., Completion of natural gas hydrate overland transportation demoproject, *Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates, Edinburgh, Scotland, United Kingdom, July 17–21, 2011, 2011.*
- Keita Y., Martin B., Sloan E.D., Koh C.A., Sum A.K., 2011. Designing clathrate hydrate materials for hydrogen storage, *Proceedings of the 7th International Conference on Gas Hydrates, Edinburgh, Scotland, United Kingdom, July 17–21.*
- Ricaurte M., Dicharry C., Broseta D., Renaud X., Torr  J.-P. 2013. CO<sub>2</sub> removal from a CO<sub>2</sub>–CH<sub>4</sub> gasmixture by clathrate hydrate formation using THF and SDS as water-soluble hydrate promoters, *Ind. Eng. Chem. Res.* 52, 899–910.



## Межгодовая изменчивость климатических характеристик, определяющих динамику мерзлых толщ на полуострове Ямал

Г.Е.Облогов, Ю.В.Коростелев, П.Т.Орехов  
*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*  
 Г.В.Малкова, А.А.Васильев  
*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*  
*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Проведена оценка пространственного распределения и межгодовой изменчивости климатических характеристик полуострова Ямал на основании анализа метеорологической информации по метеостанциям Марре-Сале, Харасовэй, о. Белый (им. Попова), Дровяная, Тамбей, Сеяха, Новый Порт и Салехард. Собраны, выверены и откорректированы все доступные материалы по климату Ямала. Созданы цифровые базы данных суточных, декадных, среднемесячных и среднегодовых значений по атмосферному давлению, температуре воздуха, температуре поверхности, направлению и скорости ветра, количеству осадков, снежному покрову. Разработаны картографические модели изменчивости климатических характеристик для полуострова Ямал

**Ключевые слова:** климат, температура воздуха, база данных, картографические модели

## Interannual Variability of Climate Characteristics Defined the Permafrost Dynamics at the Yamal Peninsula

G.E.Oblogov, Yu.V.Korostelev, P.T.Orekhov  
*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*  
 G.V.Malkova, A.A.Vasiliev  
*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*  
*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

The estimation of the spatial distribution and interannual variability of the climatic characteristics of the Yamal Peninsula on the basis of the analysis of meteorological data from weather stations Marre-Sale, Kharasaway, Bely, Drovyanoy, Tambay, Sejakha, New Port and Salekhard have been carried out. All available materials on climate change on the Yamal Peninsula were collected, checked and corrected. Digital database on daily, ten-day, monthly and annual index of atmospheric pressure, air temperature, surface temperature, direction and speed of wind, precipitations, and snow cover has been collected, verified and corrected. The series of cartographic models of climate change show areal distribution of different climatic characteristics on the Yamal Peninsula.

**Key Words:** climate, air temperature, data base, cartographic models

### Введение

Для оценки межгодовой изменчивости климатических характеристик полуострова Ямал впервые проведен сбор всех архивных, фондовых, опубликованных ранее и размещенных в Интернете метеоданных. Были решены следующие содержательные задачи:

- собраны суточные данные об атмосферном давлении, температуре воздуха, температуре поверхности, скорости и направлении ветра, снежном покрове;
- выполнен анализ метеоданных, рассчитаны декадные, среднемесячные и среднегодовые показатели климата, разработаны базы данных;
- проведен анализ пространственного распределения и межгодовой изменчивости климатических

характеристик, выявлены основные тенденции (тренды) изменения показателей климата;

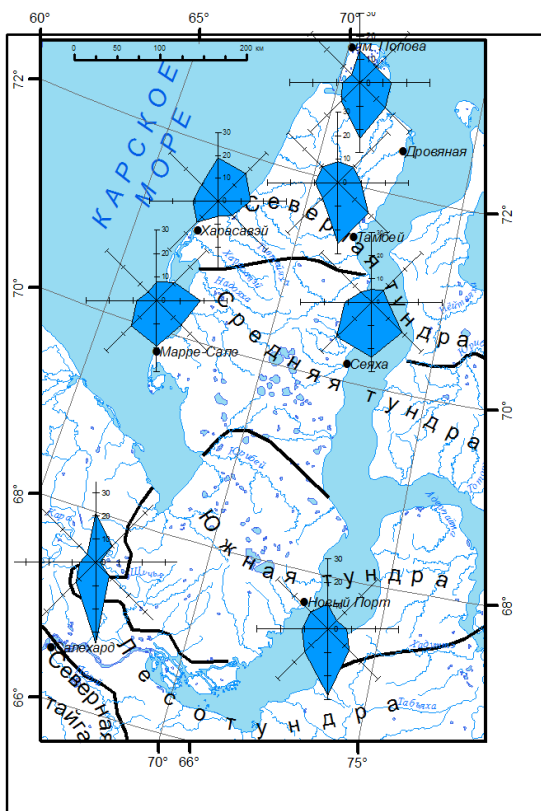
- разработаны картографические модели как основа для оценки и прогнозирования изменения климата Ямала.

### Основные полученные результаты

О состоянии современного климата Ямала и его изменчивости в XX и XXI в. можно судить по данным наблюдений на метеостанциях, расположенных преимущественно в прибрежной зоне п-ва Ямал и о. Белый. Только метеостанция Салехард находится в континентальных условиях, в 160 км к западу от южной оконечности Обской губы.

Характер атмосферной циркуляции и ветрового режима на полуострове Ямал демонстрирует разработанные картографические модели изменения климата (рис. 1, 2).

А



Б

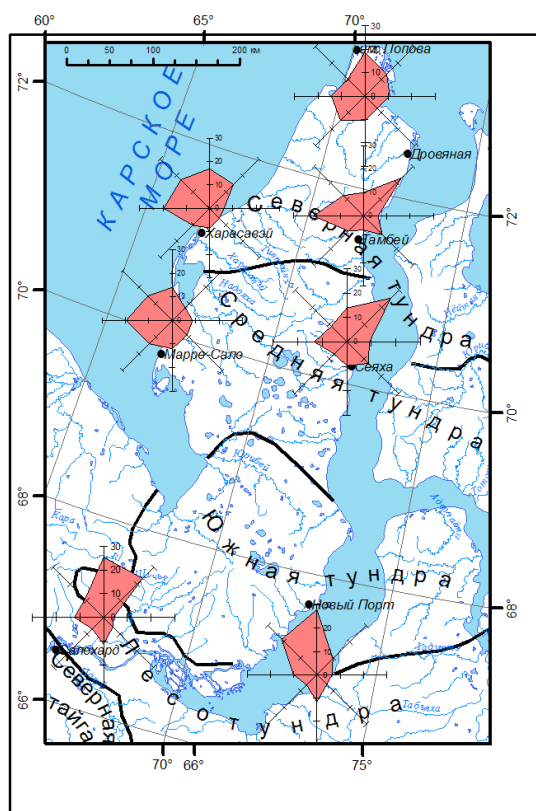


Рис. 1. Среднеголетняя повторяемость направления ветра (%) на Ямале в январе (А) и июле (Б)

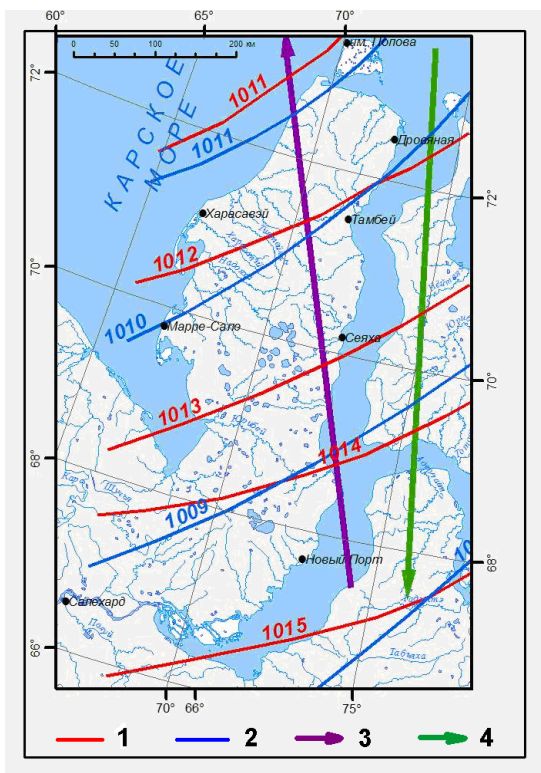


Рис. 2 Среднее давление воздуха (гПа) в январе (1) и июле (2); преобладающее направление воздушных потоков в январе (3) и июле (4)

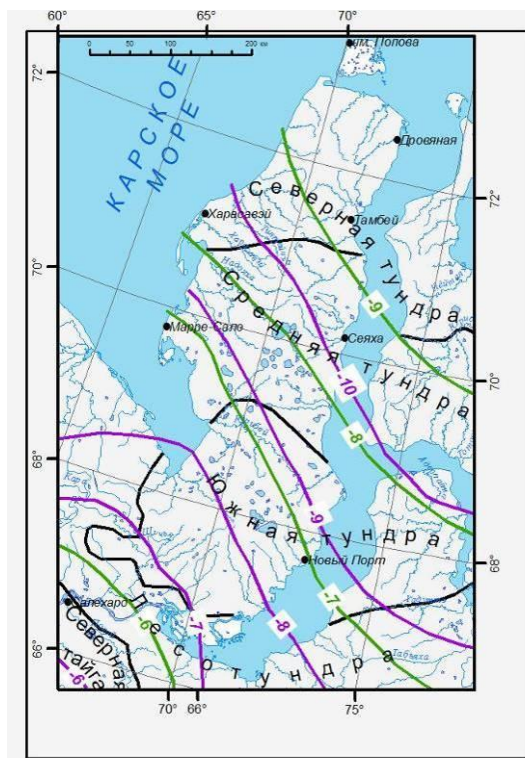


Рис. 3. Характер распространения среднегодовой температуры воздуха (°С) периода нормы 1960-1990 гг. (фиолетовые изолинии) и периода 2000-2013 гг. (зеленые изолинии).

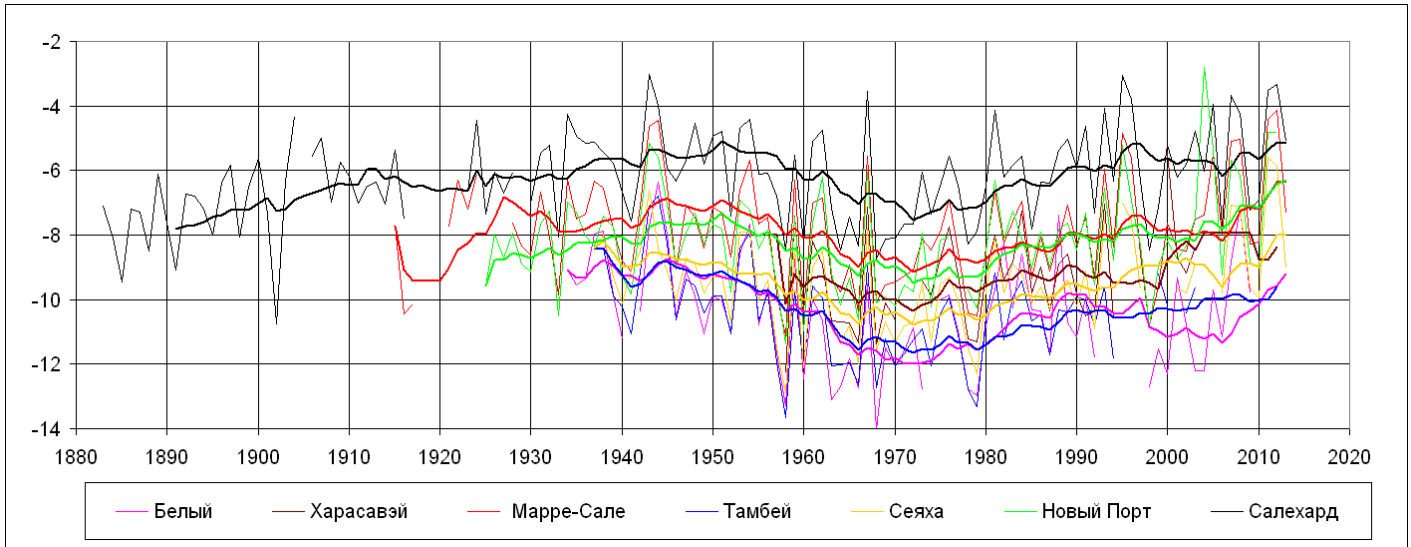


Рис. 4. Изменение среднегодовой температуры воздуха по данным метеостанций Ямала

Среднегодовая температура воздуха изменяется в широких пределах: от  $-5,0^{\circ}\text{C}$  на самом юге Ямала (Салехард) до  $-13,1^{\circ}\text{C}$  на севере (о.Белый). Среднегодовая температура последнего десятилетия повысилась относительно нормы на  $1...1,8^{\circ}\text{C}$ . Максимальное повышение наблюдается в центральной части Ямала (м/с Марре-Сале и м/с Новый Порт, Сеяха) (рис. 3).

Ход среднегодовой температуры воздуха имеет циклический характер с периодами потепления и похолодания (рис. 4). Предшествующий период потепления наблюдался с середины 1930-х годов до 1950 г. Затем начался период похолодания, достигший своего минимума к началу 1970-х годов. В среднем для всего региона можно считать, что современное потепление климата на Ямале началось с середины 1970 годов и продолжается почти синхронно для всей территории, но с различной интенсивностью в разные временные периоды.

На основе анализа межгодовой изменчивости климатических характеристик получены значения трендов изменения среднегодовой температуры воздуха в различные временные периоды (табл.1).

Таблица 1. Тренды изменения среднегодовой температуры воздуха в различные временные периоды

Метеостанция	Тренды изменения среднегодовой температуры воздуха, град/год		
	1935-2013	1960-1990	1990-2013
им.М.В.Попова	-0,01	0,08	0,01
Тамбей	-0,02	0,04	0,01
Харасовэй	0,03	0,03	0,02
Сеяха	0,01	0,03	0,05
Марре-Сале	0,005	0,03	0,05
Новый Порт	0,01	0,04	0,05
Салехард	0,005	0,04	0,03

Для периода климатической нормы тренды среднегодовой температуры воздуха изменяются в пределах  $0,03...0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . По данным метеостанции им.Попова тренд температуры в этот период оказался самым высоким  $0,08^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . Тренды изменения среднегодовой температур воздуха в современный период (1990-2013 гг.) по всем метеостанциям оказались положительными и колеблются в широких пределах от  $0,01$  до  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .

Но за 80-летний период таких существенных изменений не наблюдается. На двух метеостанциях - им. Попова и Тамбей - среднегодовая температура воздуха **понижилась примерно на  $1...1,5^{\circ}\text{C}$**  (тренды температуры воздуха  $-0,01$  и  $-0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$  соответственно). Для метеостанций Сеяха, Марре-Сале, Новый Порт и Салехард **повышение  $T_{\text{возд}}$  оказалось около  $1^{\circ}\text{C}$**  при соответствующих трендах  $0,005...0,01^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .

Если рассматривать сезонные изменения температуры воздуха, то повышение среднегодовой температуры воздуха обусловлено как потеплением в летний период, так и в зимний (см. таблицу 2).

Таблица 2. Средняя многолетняя температура воздуха для различных временных интервалов

Метеостанция	Т средне-годовая, $^{\circ}\text{C}$		Сумма полож. Т, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{мес}$		Сумма отриц. Т, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{мес}$	
	1960-1990	2000-2013	1960-1990	2000-2013	1960-1990	2000-2013
им.М.В.Попова	-11,1	-9,9	12	14	-137	-135
Тамбей	-11,0	-9,9	16	18	-146	-136
Харасовэй	-9,6	-8,6	15	21	-115	-104
Сеяха	-10,2	-8,4	19	25	-140	-127
Марре-Сале	-8,5	-6,8	18	24	-120	-106
Новый Порт	-8,7	-6,9	29	33	-133	-121
Салехард	-6,7	-5,3	39	45	-118	-107

На сайте Главной геофизической обсерватории им. Воейкова ([www.voeikovmgo.ru](http://www.voeikovmgo.ru)) в 2014 г. размещена в открытом доступе интерактивная карта прогноза климата (приземная температура воздуха и осадки) в XXI веке на основе расчетов будущих изменений климата на территории России с помощью ансамбля глобальных климатических моделей, принявших участие в 5-ом оценочном докладе МГЭИК. Согласно предложенным модельным прогнозам, выполненным в северных регионах России и в том числе на Ямале среднегодовая температура воздуха для умеренного сценария может повыситься к 2030 г на 2...2,5°C. К середине XXI века повышение среднегодовой температуры воздуха уже достигнет 4°C, а в конце 21 века – превысит 5°C! Такое значительное повышение среднегодовой температуры воздуха будет определяться по мнению экспертов, прежде всего, очень сильным повышением температуры воздуха в зимний период (сайт <http://www.voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=613>).

При этом согласно принятым моделям на севере Западной Сибири одновременно прогнозируется повышение количества осадков к 2030 г на 10-15%.

К середине XXI века количество осадков возрастет на 20-30%, а в конце XXI века может достигнуть на арктическом побережье Ямала уже 40-50%. В условиях развития событий по «жесткому» сценарию изменения климата прогнозируются еще более катастрофичными.

Если таким модельным прогнозам суждено сбыться, то это неизбежно должно привести к опасным геоэкологическим последствиям – повышению температуры мерзлых толщ, частичной деградации мерзлоты и увеличению площади таликов, активизации криогенных процессов.

В заключении подчеркнем, что оценка будущих изменений климата принципиально возможна лишь в виде некоторого вероятностного распределения, так что задача предсказания климата сводится к определению вероятностных функций распределения разных характеристик климатической системы в будущем, а не к прогнозу ее эволюции во времени. Согласно нашим оценкам для Ямала в последние 30 лет характерно неблагоприятное сочетание изменения климатических условий: повышение среднегодовой, среднезимней и среднелетней температуры воздуха. Но за более продолжительный 80-летний период эти тенденции ослабевают, а для некоторых метеостанций становятся обратными. Только дальнейшие наблюдения климатических изменений покажут, имеем ли мы дело с явно завышенными оценками модельных прогнозов, или этим прогнозам суждено сбыться.

Оценки произошедших климатических изменений направлены на повышение адекватности прогнозных расчетов в составе проектов строительства и реконструкции промышленных объектов и систем транспорта углеводородного сырья.



## Влияние изменений климата на интенсивность экзарации дна ледяными торосистыми образованиями

С.А.Огородов, В.В.Архипов, О.В.Кокин

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва*

*Государственный океанографический институт имени Н.Н.Зубова*

### Реферат

Одним из наиболее опасных явлений на в прибрежно-шельфовой зоне замерзающих морей является экзарация дна ледяными торосистыми образованиями. В условиях потепления климата существенно меняются характер и интенсивность экзарационного воздействия ледяных образований на дно и берега. В результате зона наиболее интенсивного ледово-экзарационного воздействия смещается в сторону суши, на более мелководные участки.

**Ключевые слова:** Морские льды, торосистые образования, изменения климата, экзарация, зона воздействия.

## Climate Change Effect on the Intensity of Seabed Gouging by Hummocky Ice Floes

S.A.Ogorodov, V.V.Arkipov, O.V.Kokin

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*Zubov State Oceanographic Institute*

### Abstract

One of the most dangerous phenomena at coastal-shelf zone of freezing seas is ice gouging by hummocky ice floes. Warming climate conditions are substantially modified nature and intensity ice effect on the bottom and the coast. As a result, the most intense area of the ice gouging impact shifted landward into more shallow areas.

**Key Words:** Sea ice, ice ridges, climate change, ice gouging, impact zone.

### Введение

Морские льды как зональный фактор являются важным пассивным и активным рельефообразующим агентом в прибрежно-шельфовой зоне арктических и других замерзающих морей. Пассивное воздействие морских льдов на динамику берегов и дна замерзающих морей выражается в защитной роли припая и дрейфующих льдов от воздействия волн и приливов. Блокируя береговую зону в течение большей части года, морской лед регулирует действие активных гидродинамических факторов, сокращая время их проявления и определяя тем самым интенсивность абразии берегов и дна. Прямое или активное воздействие морских льдов проявляется в процессе ледовой экзарации (выпахивании) берегов и дна, транспорте наносов морскими льдами, формировании мерзлых пород в контактной зоне «лед-дно», явлениях локального размыва дна вокруг стамух и под приливными трещинами.

Среди перечисленных выше прямых ледовых воздействий наиболее опасным применительно к подводным трубопроводам, кабелям связи и прочим гидротехническим сооружениям на дне является экзарация - деструктивное механическое воздействие льдов на грунт, связанное с динамикой ледяного покрова, торошением и стамухообразованием под влиянием гидрометеорологических факторов и рельефа прибрежно-шельфовой зоны [Огородов 2011].

Недооценка величин экзарации дна может привести к повреждению инженерных сооружений, в тоже время

излишнее заглупление объектов сильно удорожает их строительство. Найти оптимальный вариант и, тем самым, снизить риски возникновения чрезвычайных ситуаций в настоящее время наиболее актуальная задача науки и практики. Задача эта усложняется тем фактом, что нефтегазовое освоение прибрежно-шельфовой зоны замерзающих морей в настоящее время ведется в условиях глобальных климатических изменений. В результате потепления осенью 2012 года в Северном полушарии достигнут исторический минимум площади ледяного покрова с начала спутниковых наблюдений с 1978 года [<http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere>].

В условиях потепления климата существенно меняются характер и интенсивность экзарационного воздействия ледяных образований на дно и берега. В результате снижения продолжительности ледового сезона и толщины ледяного покрова активизируется динамика льда, увеличивается его торосистость. Вместе с тем имеет место перераспределение зоны наиболее интенсивных воздействий на более мелководные участки. На фоне сокращения ширины и устойчивости припая усиливается воздействие морских льдов на берега. Параллельно активизируется динамика ледников, в результате увеличивается сброс айсбергов, повышается вероятность выпаживания ими дна на глубоководных участках, встречи с судами и танкерами.

### Основная часть

Интенсивность экзарации дна ледяными образованиями (при неизменных литолого-



геоморфологических условиях) в значительной степени определяется изменчивостью состояния, площади и мощности ледяного покрова. Последние характеристики могут быть получены на основе данных с гидрометеорологических станций и анализа спутниковых изображений с последующим сопоставлением с результатами съемок ледово-экзарационного микрорельефа разных лет.

В последние десятилетия на фоне потепления климата в арктическом бассейне отмечается не только снижение ледовитости в целом, но и перестройка системы циркуляции морских вод и льдов, что приводит к переопределению областей распространения тонких молодых и толстых многолетних паковых льдов.

Среди однолетних льдов в последнее десятилетие наблюдаются четко выраженные аномалии мощности ледяного покрова (рис. 1). Уменьшение толщины льда не может не сказываться на размере ледяных торосистых

образований, осадка которых находится в прямой зависимости от толщины льда. Имеется четкая физическая зависимость между этими показателями. Из литературных источников известно, что при толщине льда 0,5-0,7 м в Каспийском море стамухи образуются до глубины 10-12 м [Гидрометеорология... 1992], в Печорском море при толщине льда 1,0-1,4 м стамухи образуются до глубины 18 метров [Ледяные образования 2006], в Карском море при толщине льда 1,5-2,0 метра стамухи образуются до глубины 26-28 м, в Восточно-Сибирском море, где толщина однолетнего льда достигает 2,0 м, а средняя толщина распространенных здесь многолетних паковых льдов достигает 3-4 м, стамухи образуются на глубинах до 35 м [Горбунов и др. 2005]. Изменяется граница распространения припая. При прочих равных условиях, чем больше сумма отрицательных температур, тем устойчивее припай.



Рис. 1. Аномалии мощности ледяного покрова на конец мая 2012 г. [Обзор гидрометеорологических... 2013]

Моделирование параметров торосистых образований в зависимости от толщины льда также показывает четкую физическую зависимость между этими показателями [Вершинин и др. 2005]. Таким образом, в условиях потепления климата будет наблюдаться снижение размеров торосов и стамух, сокращение ширины припая, что в конечном образе приведет к смещению зоны наиболее интенсивного воздействия ледяных образований на дно – в сторону суши, в зону с меньшими глубинами.

Для того чтобы получить оценку реальной интенсивности ледово-экзарационного воздействия в настоящее время необходимо проведение повторных съемок микрорельефа для выделения ледовых форм, образовавшихся в период между съемками.

Натурные наблюдения, включая мониторинговые по одним и тем же профилям, проводятся в Байдарацкой губе Карского моря и на трассе перехода газопровода «Бованенково-Ухта» в период с 2005 по 2012 гг., совпавший с условиями заметного потепления климата и снижения ледовитости в Карском море.

За последние 2 десятилетия продолжительность ледового сезона сократилась почти на 1,5 месяца, образование припая характеризуется эффектами его

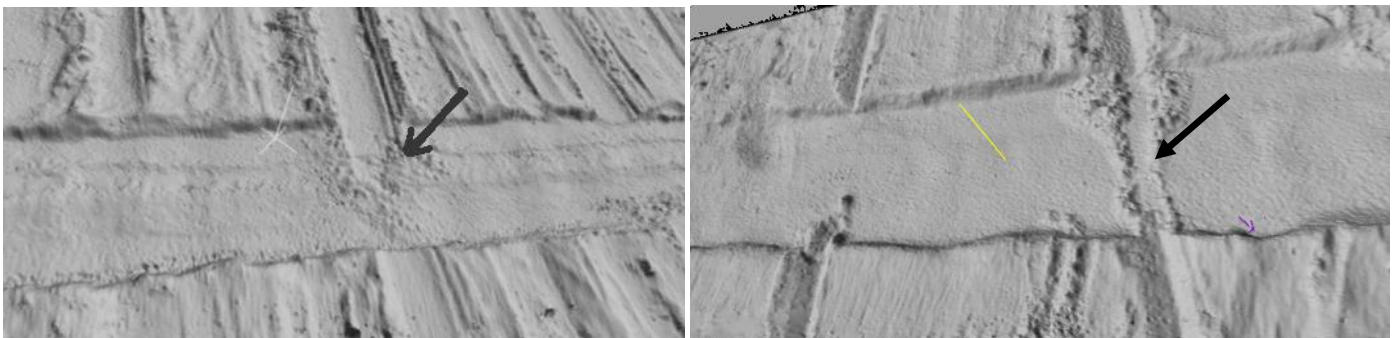
частого отрыва (особенно со стороны Уральского берега), толщина ледяного покрова сократилась минимум на 10-15 см. В мае 2007 года в полынье со стороны Уральского берега было документально зафиксировано появление небольшого айсберга. Последний раз в указанном районе айсберг был зафиксирован в 1932 году, в период, также характеризовавшийся потеплением и снижением ледовитости. Вероятно, появление айсбергов в данном районе не случайно совпадает с периодами потепления. На севере Новой Земли в условиях потепления ледники активизируются, количественно увеличивается сброс айсбергов в акваторию Карского моря. Система постоянных течений и протяженные полыньи создают благоприятные условия для проникновения айсбергов в Байдарацкую губу.

Проведенные натурные наблюдения подтверждают тот факт, что в условиях потепления климата, сокращения мощности ледяного покрова, параметров ледяных торосистых образований, ширины припая - область наиболее интенсивного ледово-экзарационного воздействия сместилась на меньшие глубины. Так, если ранее максимум ледово-экзарационного воздействия (по количеству и глубине ледово-экзарационных борозд) был приурочен к интервалу глубин 17-20 м, то в настоящее



время эта зона сместилась на глубину 12-16 м (рис. 2). В центральной, глубоководной части губы борозды перестали образовываться. В условиях засыпанной грунтом траншеи определить молодые борозды, образовавшиеся в период после строительства

трубопровода, не представляет труда: молодые борозды оставляют свои следы на свежем грунте траншеи – «как на чистом листе бумаги» (рис. 3). За период наблюдений после строительства первой нитки трубопровода лишь 1 борозда образовалась на глубине 20 м зимой 2009 года.



## Заключение

На основе анализа литературных источников, моделирования и результатов натурных исследований установлено, что в условиях потепления климата и снижения ледовитости зона наиболее интенсивного ледово-экаррационного воздействия смещается в сторону суши, на более мелководные участки.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-05-00408а).

## Литература

Огородов С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. – М.: Изд-во Московского университета, 2011, 173 с.

- <http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere> - Cryosphere Today.  
 Гидрометеорология и гидрохимия морей, Том IV, Каспийское море, Выпуск 1, Гидрометеорологические условия // Под ред. Ф.С. Терзиева и др., 1992, 360 с.  
 Ледяные образования морей Западной Арктики. Под ред. Г.К. Зубакина. – СПб.: ААНИИ. 2006. – 272 с.  
 Вершинин С.А. и др. Воздействие льда на сооружения Сахалинского шельфа. – М.: "Институт Гипростроймост", 2005, 208 с.  
 Горбунов Ю.А. и др. Стамухи арктических морей сибирского шельфа // Новости ЕСИМО. Электронное периодическое издание. – Обнинск. 2005г., Вып. 22. <http://www.oceaninfo.ru>.  
 Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане в 2012 году. // Под ред. И.Е. Фролова. – Ротапринт ГНЦ РФ ААНИИ, 2013. 124 с.

## Укрепление плотины Вилюйской ГЭС-3 путем ее замораживания

С.Н.Окунев, Г.М.Долгих, Н.А.Скорбилин

ООО Научно-производственное объединение «Фундаментстройаркос» (НПО ФСА)

### Реферат

Рассматриваются результаты работ по предотвращению развития обходного фильтрационного потока в области отрицательных температур горных пород на участке левобережной каменно-земляной плотины (ЛКЗП) Вилюйской ГЭС-3 путем замораживания их до глубины 60 метров с помощью глубинной коллекторной системы конструкции НПО «Фундаментстройаркос». При невозможности использования в сложных инженерно-геологических и фильтрационных условиях данного участка глубокой цементационной стены было впервые реализовано техническое решение по уменьшению разрушающего воздействия обходного фильтрационного потока на ЛКЗП посредством устройства уникальной «висячей» глубинной мерзлотной завесы, выполненной при помощи глубинной коллекторной системы с возможностью подключения холодильной машины в летний период. Регулярные термометрические наблюдения в восьми скважинах показали, что в период с ноября 2014 г. по март 2015 г. на участке размещения системы в целом создана мерзлотная завеса с температурой замораживаемых горных пород до минус 10 °С. Приведены интервалы глубин, в которых возможна фильтрация подземных вод в основание плотины, анализируются методы изучения и предотвращения этого опасного явления.

**Ключевые слова:** замораживание грунтов; глубинная коллекторная система; мерзлотная завеса; плотина; термометрические наблюдения; фильтрация

## Strengthening hydroelectric dam Vilyuiskaya by its freezing

S.N.Okunev, G.M.Dolgikh, N.A.Skorbilin

FundamentStroyArkos LLC Scientific and Production Association, Tyumen, Moscow

The prevention of bypass flow throw frozen rocks at the left Bank of stone-and-soil ground dam of Vilyui HPP-3 is discussed. The ground was freeze to a depth of 60 meters with the internal collector system design by LLC "Fundamentstroiarkos". The use of the "concrete wall" in ground was impossible because of the complex engineering-geological and reservoir conditions. Therefore, it was implemented firstly technical solution to reduce the damaging effects of bypass filtration flow around the dam using a device with unique "dangling" deep permafrost veil, made with the help of the deep manifold system, which had the opportunity to use refrigerator in summer. Regular thermometric observations in eight wells showed that in the period from November 2014 to March 2015 the permafrost veil with ground temperature -10°C was created. It was also analyzed the possibility of water filtering under the dam.

**Key words:** freezing of soils; deep collector system; permafrost veil; dam; thermometric observations; filtering

При возведении плотин в условиях криолитозоны серьезной проблемой, с которой сталкиваются проектировщики и строители, является фильтрация подземных вод через их грунтовые основания. В рассматриваемом случае с целью уменьшения фильтрации в основании левобережной каменно-земляной плотины Вилюйской ГЭС-3 (Светлинской ГЭС) установлена цементационная стена из буронабивных свай диаметром 1,0 м. Однако использование в подобных целях горизонтальных цементационных штольней не сумело предотвратить разрушения коренных пород левого борта по причине развития вертикальных трещин раскрытия вследствие физико-химических процессов взаимодействия воды с коренными породами плотины.

Фильтрационные и мерзлотные условия на участке работ очень сложные. В основании плотины залегают пестроцветные породы илгинской свиты, сменяющиеся ниже осадками верхоленской свиты. Преобладают алевролиты, аргиллиты и мергели с прослоями доломитов, известняков, песчаников. Сверху они

представлены оползнями, расчленены на отдельные блоки трещинами отрыва, зонами скольжения и дробления, заполненными щебенисто-дресвяным материалом и льдом. Ниже они преимущественно слоистые, сильнотрещиноватые, перематы и раздавлены до щебня и суглинка с отдельными блоками коренных пород.

В основании плотины грунты мерзлые, криогенная текстура - трещинно-пластовая, трещинно-жильная, корковая, массивная. Нижележащие породы засолены (0,5-7,0%), загипсованы (1-2%), среди них отмечаются мерзлые и талые с криопэгами. Данные по водопоглощению пород свидетельствуют о их хорошей водопроницаемости и существенной величине возможного коэффициента фильтрации. В породах с криопэгами температура начала их замерзания может понижаться до значений минус 3,2 °С и ниже, что позволяет происходить фильтрации подземных вод через грунты с отрицательными температурами.

По данным ближайшей к объекту исследований метеостанции в г. Мирный средняя годовая температура



воздуха составляет минус  $8,2^{\circ}\text{C}$ , средняя месячная температура самого холодного месяца (января) — минус  $32,3^{\circ}\text{C}$  и самого теплого месяца (июля) — плюс  $16,8^{\circ}\text{C}$ . Такие низкие температуры позволяют использовать I-ый принцип строительства и эксплуатации рассматриваемого объекта, при котором грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения.

С учетом рассмотренных обстоятельств для предотвращения развития фильтрации подземных вод через породы основания левобережной плотины Виллойской ГЭС-3 НПО «Фундаментстройаркос» спроектирована и установлена глубинная мерзлотная завеса на участке цементационной штольни в интервале абсолютных глубин 122-182 м. Эта завеса представлена двумя рядами глубинных коллекторных труб охлаждающих вертикальных (ТОВ), предусматривающих совместную работу с холодильной машиной в летний период (рис. 1).

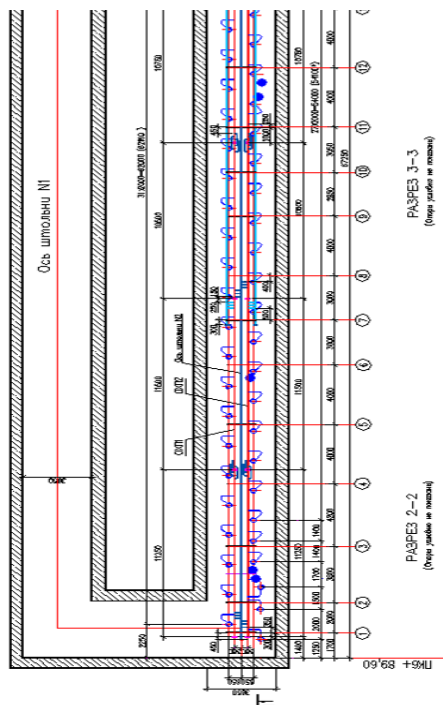


Рис. 1. Фрагмент схемы расположения ТОВ глубинной мерзлотной завесы на участке цементационной штольни

Двурядность мерзлотной завесы обусловлена технологическими трудностями, возникающими в стеснённых условиях бурения слабых сильнотрещиноватых пород на глубину до 60 м при необходимости выдерживать шаг между охлаждающими трубами не более рассчитанного по прогнозу.

В прогнозном расчете, выполненном в НПО «Фундаментстройаркос», для предотвращения фильтрации подземных вод через грунты основания рассматриваемой плотины требуется выполнения ряда условий. В частности, предполагается, что ТОВ

мерзлотной завесы будут работать только в зимний период ориентировочно с 15 ноября по 15 марта с использованием в конденсаторной части аппарата воздушного охлаждения (АВО). В качестве хладагента применяется двуокись углерода. В связи со слабой изученностью и сложностью инженерно-геологических и фильтрационных условий рекомендуется эксплуатировать ТОВ мерзлотной завесы в летний период, подключив холодильную машину с температурой на испарителе минус  $31^{\circ}\text{C}$ . Последняя включается в весенний период при устойчивом росте температуры воздуха выше минус  $10^{\circ}\text{C}$ , а отключается при ее устойчивом понижении до минус  $15^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Из-за отсутствия водоупорных слоёв в породах основания согласно прогнозному расчету возможно развитие обходных фильтрационных потоков на абсолютных отметках глубин ниже 123 м. Также выход фильтрационных потоков ожидается на отметках 155 - 168 м.

При эксплуатации в криолитозоне инженерных сооружений, построенных по I-му принципу с сохранением грунтов оснований постоянно в мерзлом состоянии, требуется проведение регулярного геотехнического мониторинга. Он необходим для сбора достоверных данных по температурному и деформационному состоянию грунтов оснований, работоспособности охлаждающих устройств, устойчивости и долговечности фундаментов и надземных конструкций, наблюдениям за погодными условиями. Геотехнический мониторинг включает в себя целый комплекс мероприятий, обязательной частью которого является мониторинг температурного режима грунтов оснований, опирающийся на термометрические наблюдения. Количество, глубина и размещение необходимых для этого наблюдательных скважин, программа термометрических измерений определяются соответствующими проектами, учитывающими назначение, степень ответственности и линейные размеры строящихся зданий и сооружений.

В цементационной штольне, заложенной в породах левобережной плотины Виллойской ГЭС-3, для создания глубинной мерзлотной завесы последовательно смонтированы три системы ТОВ (ОХЛ-1, ОХЛ-2, ОХЛ-3). За пределами штольни к ним присоединяется еще одна система ТОВ (ОХЛ-4). Все они заправлены углекислотой в качестве хладагента. В створе систем ТОВ пробурены и соответствующим образом оборудованы семь термометрических скважин глубиной около 70 м. Еще одна скважина (ТП-28) в качестве фоновой находится в 3,5 м от системы ОХЛ-4.

В указанных скважинах с октября 2014 г. проводятся регулярные термометрические наблюдения. Анализ полученных данных за период с начала наблюдений по март 2015 г. позволил установить ряд закономерностей.

В скважине ТП-28, расположенной за пределами влияния систем ТОВ (рис. 2), за указанный срок все значения температуры горных пород в интервале глубин с абсолютными отметками 112-180 м оказались в интервале от 0 до плюс  $4^{\circ}\text{C}$ , то есть в естественных

условиях весь исследуемый массив пород находится в стабильно талом состоянии.

Совсем другой характер имеет динамика изменений температуры горных пород в термометрической скважине Т-23 (рис. 3), расположенной в 0,5-1,1 м от системы ТОВ (ОХЛ-3). Лишь в начале цикла измерений (31.10.2014 г.) температура пород была близка к 0 °С. Затем под воздействием охлаждающей системы ТОВ она стала закономерно понижаться и к 10.03.2015 г. в интервале абсолютных отметок 125-182 м, фиксирующих расположение мерзлотной завесы, опустилась ниже отметки минус 5°С, а в интервале 150-158 м достигла минус 10°С и ниже. Однако через неделю температура пород повсеместно повысилась на 1...2°С, что очевидно можно объяснить отключением системы ТОВ в связи с повышением температуры воздуха до уровня значений температуры пород.

На основании полученных данных можно заключить, что в данное время в этом месте основания левобережной плотины фильтрация подземных вод практически невозможна.

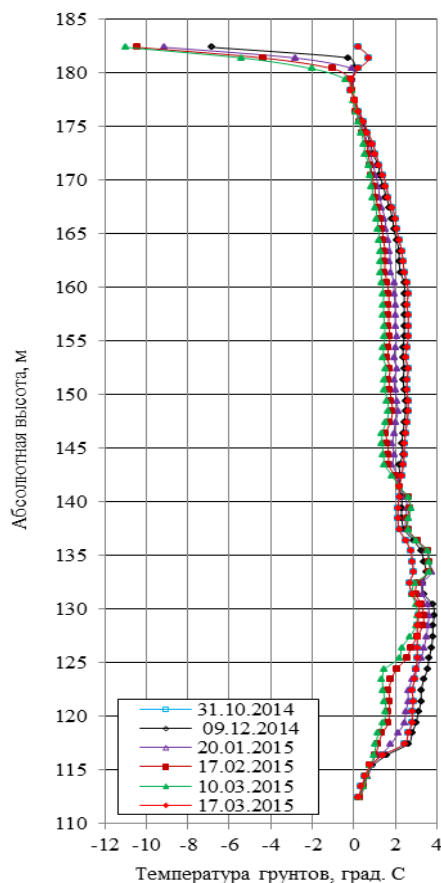


Рис. 2. Динамика изменений температуры горных пород в термометрической скважине ТП-28

В термометрической скважине Т-19 (рис. 4), расположенной в 0,5-1,1 м от системы ТОВ (ОХЛ-2), в начале цикла измерений (31.10.2014 г.) преобладала температура пород от 0 до минус 1°С. Включение

охлаждающей системы ТОВ привело к ее устойчивому понижению. Зимний минимум был зафиксирован 10.03.2015 г., когда температура пород колебалась по разрезу примерно от минус 4 до минус 14 °С. Последнее значение характеризует интервал глубин с абсолютными отметками 160-167 м. Именно здесь через неделю произошло повышение температуры на 4-4,5 °С. Ниже и выше по разрезу это повышение не превысило 0,5...2°С. Как и в случае с предыдущей скважиной, его причиной очевидно стало отключение системы ТОВ в связи с повышением температуры воздуха.

В целом больших оснований для фильтрации подземных вод в этом месте основания исследуемой плотины нет. Подходящим интервалом абсолютных отметок для возможной фильтрации подземных вод является 169-173 м, где температура пород зимой не понижалась ниже -4°С.

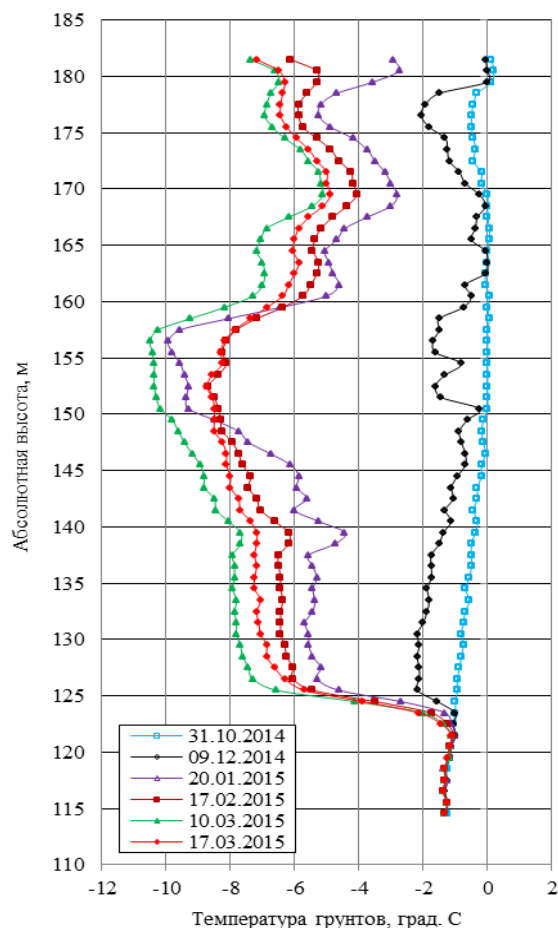


Рис. 3. Динамика изменений температуры горных пород в термометрической скважине Т-23

Термометрическая скважина 3987 (рис. 5) находится в 0,5-1,1 м от системы ТОВ (ОХЛ-4). На начальном этапе термометрических наблюдений (31.10.2014 г.) температура пород колебалась в основном от 0 до плюс 1°С. После включения охлаждающей системы ТОВ произошло понижение температуры грунтов, однако с разной интенсивностью по разрезу горных пород. К

своему зимнему минимуму (10.03.2015 г.) наиболее низкие значения температуры (до минус 6°C и ниже) отмечались в интервалах глубин с абсолютными отметками 125-127, 131-135 и 139-161 м. С другой стороны, имеется ряд интервалов глубин, в которых преобладающая температура пород была от 0 до минус 2°C, что увеличивает шансы на существование здесь источников фильтрации подземных вод. К этим интервалам глубин в пределах мерзлотной завесы относятся 122-124, 126-129, 136-138 и 163-174 м. Как и в случае с другими скважинами, по наблюдениям 17.03.2014 г. отмечается повышение температуры пород, очевидно по той же причине, что указана выше.

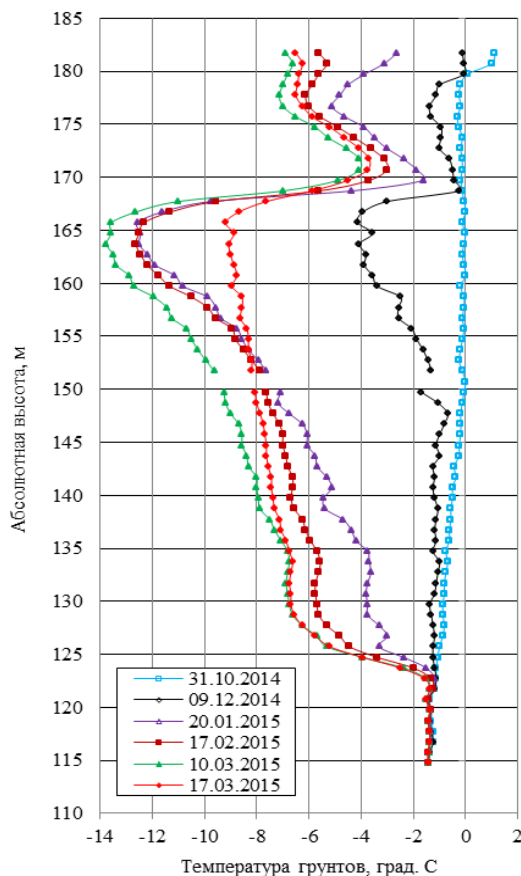


Рис. 4. Динамика изменений температуры горных пород в термометрической скважине Т-19

### Выводы

1) Уже за первый зимний сезон работы охлаждающих систем ТОВ с использованием АВО показан положительный результат по замораживанию сложно структурированного массива горных пород основания левобережной плотины Виллойской ГЭС-3, находящегося в естественных условиях в талом состоянии с температурой пород до плюс 4°C. Благодаря их работе к концу первой декады марта 2015 г. температура пород в этом массиве по термометрическим данным опускалась

до минус 10°C и ниже. В будущем, особенно с учетом подключения холодильных машин, задача предотвращения фильтрации подземных вод через основание плотины представляется выполнимой.

2) В период с 10 по 17 марта 2014 г. по данным всех рассмотренных термометрических скважин произошло повышение температуры пород на 0,5...4°C, что очевидно можно объяснить отключением системы ТОВ в связи с повышением температуры воздуха до уровня значений температуры пород и исчезновением потенциала для эффективного теплообмена в системе воздух-горные породы.

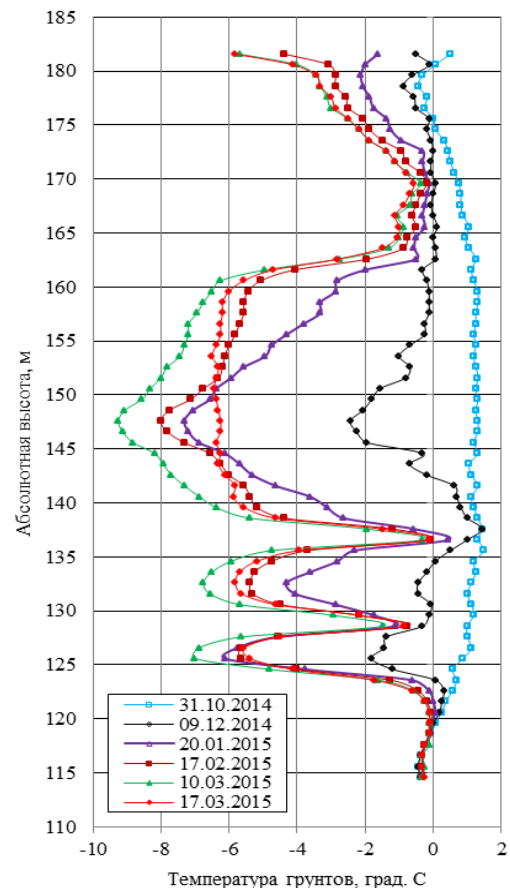


Рис. 5. Динамика изменений температуры горных пород в термометрической скважине 3987

3) Полученные термометрические данные в целом подтверждают прогнозные расчеты о возможности появления фильтрации подземных вод в интервале глубин с абсолютными отметками 155-168 м и развития обходных фильтрационных потоков на отметках ниже 123 м. Они также позволяют предложить дополнительные варианты перспективных для возможной фильтрации интервалов глубин: 169-173 м (скважина Т-19), 122-124, 126-129, 136-138 м (скважина 3987).

## Применение электротомографии при прогнозе развития опасных экзогенных процессов на объектах инфраструктуры Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения

В.В.Оленченко

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН*

А.Б.Осокин

*ООО «Газпром Добыча Надым»*

### Реферат

Представлены результаты опытно-методических исследований методом электротомографии на участках развития опасных экзогенных процессов в пределах объектов инфраструктуры Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения. Показано, что контрастное различие по удельному электрическому сопротивлению льда и вмещающих пород дает основание применять экспрессную технологию электротомографии для картирования подземных льдов и прогноза направления и масштабов развития опасных экзогенных процессов. Сделан вывод о том, что исследования методом электротомографии следует отнести к способам оценки влияния опасных экзогенных процессов наряду с дешифрированием материалов аэросъемки, рекогносцировочными маршрутными исследованиями, геодезическими и температурными замерами.

**Ключевые слова:** опасные экзогенные процессы; лёд; электротомография.

## The Application of Electrical Resistivity Tomography in the Evaluation of the Degree Influence of Hazardous Exogenous Processes on the Infrastructure of the Bovanenkovo Deposit

V.V.Olenchenko

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and geophysics of Siberian branch of Russian Academy of Sciences*

A.B.Osokin

*Gazprom*

### Abstract

It is presented the results of experimental and methodological studies observed by electrical resistivity tomography (ERT) in the areas hazardous exogenous processes within the infrastructure Bovanenkovo deposit. It is shown that the contrast difference in resistivity of ice and rock suggests apply express technology ERT for mapping underground ice and forecast the direction and extent of development of dangerous exogenous processes. It is noticed that the result of the use of ERT should be considered a way to measure the impact of hazardous exogenous processes along with interpretation of aerial photos, route reconnaissance surveys, geodetic and temperature measurements.

**Key Words:** dangerous exogenous processes; underground ice; electrical resistivity tomography.

### Введение

Для территории Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения (БНГКМ) характерно широкое распространение мерзлотно-геологических процессов, развитие которых обусловлено оттаиванием текстурообразующего льда и крупных его залежей под воздействием изменений условий поверхностного теплообмена, многолетнего потепления климата, концентрации стока поверхностных и грунтовых вод, а также техногенной нагрузки на ландшафты при хозяйственном освоении.

Эти процессы представляют опасность для объектов вспомогательной инфраструктуры – трасс газосборных коллекторов, автодорог, линий электропередач. Для борьбы с опасными экзогенными процессами в ООО «Газпром добыча Надым» разработан план мероприятий по инженерной защите объектов обустройства

Бованенковского НГКМ от воздействия опасных экзогенных процессов. В рамках реализации этого плана силами службы геотехнического мониторинга Инженерно-технического центра (ИТЦ) ООО «Газпром добыча Надым» проводятся аналитические исследования динамики опасных экзогенных процессов на территории газового промысла № 2 (ГП-2) БНГКМ и их влияния на объекты обустройства.

Для повышения эффективности выполняемых работ в составе комплексных исследований был опробован современный электроразведочный метод геофизики - электротомография. Главной целью работы являлась разработка оперативных способов получения объективных данных о прогнозе развития опасных экзогенных процессов на объектах обустройства БНГКМ для принятия эффективных решений по инженерной защите объектов и территорий и определения приоритетности их реализации.



## Характеристика объекта исследования

В течение 2012-2013 гг. службой геотехнического мониторинга Инженерно-технического центра ООО «Газпром Добыча Надым» были проведены исследования нарушенности земель и оценка динамики опасных экзогенных процессов (ОЭП) в пределах трасс линейно-протяжённых объектов ГП-2 БНГКМ.

Согласно техническому заключению по результатам исследований на территории БНГКМ выделено 150 участков развития экзогенных процессов, характеризующихся высокой и средней степенью рисков потери надежности инженерных сооружений [Рыжакова 2014].

Геофизические исследования методом электротомографии выполнены на четырёх участках развития ОЭП, представляющих собой две подъездные автодороги к кустам газовых скважин, трассу газосборного коллектора, и трассу высоковольтной линии электропередач (ЛЭП). Ниже приводится краткая характеристика одного из участков исследований.

Участок исследований расположен в пределах подъездной автодороги к кусту газовых скважин. Из-за вытаивания пластовых льдов здесь развиты процессы термокарста и термоэрозии, формируются оползни-сплывы (рис. 1). Процессы находятся в активной стадии развития со скоростью 8-9 м/год (в 2011-2013 г.г.).



Рис. 1. Термоэрозия грунтов и образование оползней - сплывов из-за вытаивания пластового льда вблизи подъездной автодороги (аэрофотоснимок)

Степень рисков потери надежности инженерных сооружений оценивается как высокая. По данным бурения скважины по оси проектируемой дороги инженерно-геологический разрез характеризуется следующим образом: 0,0-0,1 м – торф водонасыщенный; 0,1-0,4 м – песок пылеватый, средней степени водонасыщенности; 0,4-1,2 м – песок пылеватый водонасыщенный; 1,2 - 4,3 м – суглинок мерзлый слабльдистый,  $i=0,16$ ; 4,3-4,6 м – суглинок мерзлый льдистый,  $i=0,25$ ; 4,6-7,5 м – глина мерзлая, слабльдистая,  $i=0,16$ ; 7,5-8,0 м – лёд. Температура

грунтов в слое нулевых годовых колебаний составляет минус от 3 °С до минус 5 °С.

Таким образом, по данным бурения было установлено, что в основании дороги залегают льдистые грунты и лёд неизвестной мощности и неустановленными границами распространения.

## Метод и методика исследований

В качестве метода геофизических исследований на участке исследований применялась современная модификация метода вертикального электрического зондирования – электротомография (ЭТ) [Бобачёв Горбунов 2005, Loke 2009].

Электротомография относится к группе методов сопротивления, основанных на законе Ома, и сочетает в себе элементы вертикального электрического зондирования и профилирования.

ЭТ включает оптимизированную методику полевых наблюдений многоэлектродными установками и соответствующие технологии обработки и интерпретации полевых данных. Интерпретация проводится в рамках двумерных и трехмерных моделей, а исследуемые среды могут значительно отличаться от «классических» горизонтально-слоистых.

На участке исследований выполнены площадные зондирования ЭТ, с целью последующего построения трёхмерной геоэлектрической модели. Измерения выполнены по 6 параллельным профилям. Расстояние между профилями составляло 20-25 м при длине профилей 235 м с шагом по профилю 5 м. Последовательность подключения электродов соответствовала симметричной установке Шлюмберже. При измерениях применялась многоэлектродная аппаратура Тундра-48, являющаяся модификацией прибора «Скала-48» [Балков и др. 2012].

Количественная интерпретация данных выполнялась при помощи программного обеспечения Res2Dinv и Res3Dinv [Loke 2009]. В результате были построены геоэлектрические разрезы, трёхмерные геоэлектрические модели и карты распределения удельно го электрического сопротивления (УЭС) на разных глубинах (карты изом) и проведена их геологическая интерпретация.

## Результаты исследований

Статистический анализ распределения УЭС грунтов геоэлектрического разреза вдоль подъездной автодороги показал, что распределение носит полимодальный характер - выделяется три значимых максимума. Первый расположен в окрестностях УЭС 200 Ом·м, второй – 1000 Ом·м и третий – более 10000 Ом·м. Согласно [Фролов 1998, СП 11-105-97] для мерзлых грунтов с температурой от минус 3 °С до минус 5 °С такие УЭС характерны для глин, суглинка и льда. Таким образом, разрез вдоль профиля представлен преимущественно глинами с подчинённым количеством суглинка и содержит значительное количество льда. Разрез по скважине, пробуренной на участке, подтверждает адекватность

геологической интерпретации электроразведочных данных.

На рисунке 2 показан геоэлектрический разрез вдоль автодороги, построенный по результатам 2-D инверсии. В верхней части разреза выделяются аномалии высокого УЭС (1500-7000 Ом·м) характерной формы, вызванные пластовым льдом. Характер распределения УЭС в разрезе говорит о том, что пластовый лёд распространяется вдоль дороги не сплошным слоем, что может показаться при анализе аэрофотоснимка местности (см. рис. 1).

В центральной части профиля (инт. 90-120 м) выделяется интенсивная аномалия высокого УЭС (до 15000 Ом·м), вызванная мощной ( $h=28$  м) жилой льда. Напротив этой аномалии расположена голова оврага.

Хорошо видно, что инженерно-геологическая скважина вскрывает относительно маломощный (2,5-3 м) пласт льда, не связанный с жилой.

По результатам 3-D инверсии была построена трёхмерная геоэлектрическая модель участка, срез которой по глубине 15 м показан на рисунке 3б. На карте распределения УЭС видно, что овраг развивается в сторону линейно вытянутой аномалии высокого сопротивления, вызванную мощной жилой льда. Положение этой аномалии в плане совпадает с геоморфологической структурой – линейным понижением в рельефе, заметным на космоснимке (рис. 3а). Скорее всего, такая линейно вытянутая форма рельефа развилась над ледяной жилой. Визуальный осмотр местности показал, что данное понижение в рельефе не является временным водотоком и расположено на водоразделе.

Таким образом, по геофизическим данным было установлено, что пластовый лёд в пределах участка исследований не имеет сплошное распространение. Скважина, вскрывающая лёд, попала в локальную линзу, и данные бурения создают ложное представление о сплошном распространении пластового льда в пределах участка развития ОЭП. Опасные экзогенные процессы развиваются вдоль линейно вытянутой аномалии высокого сопротивления, связанной с жильным льдом. Горизонтальная мощность ледяной жилы, секущей автодорогу, оценивается в 30 метров.

## Обсуждение результатов

Результаты опробования электротомографии показали, что данная технология может применяться в качестве оперативного метода получения объективных данных о прогнозе развития опасных экзогенных процессов на объектах газодобычи.

Для оценки рисков потери надежности инженерных сооружений в ИТЦ были разработаны критериальные признаки:

- качественные признаки – близость к инженерному сооружению, интенсивность (скорость протекания) процесса;
- количественные признаки – наличие изменений пространственного положения конструктивных элементов (деформаций фундаментов и надфундаментных конструкций), отклонение от проектного температурного режима многолетнемерзлых грунтов оснований, увеличение глубины сезонно-талого слоя (СТС).

Технология электротомографии может быть использована для оценки как качественных, так и количественных признаков. Так по распределению УЭС в плане можно оценить близость пластовых льдов к инженерному сооружению, а характерные аномалии пониженного УЭС позволят оценить отклонения в температурном режиме многолетнемерзлых грунтов и определить участки увеличения глубины СТС. В случае если инженерное сооружение расположено в зоне влияния ОЭП, и попадает в контуры аномалии высокого УЭС, то степень риска поражения инженерного сооружения следует считать достаточно высокой.

Данные ЭТ позволят точнее спрогнозировать вовлечение инженерного сооружения в зону влияния процессов в ближайшие 5-10 лет эксплуатации объекта и тем самым перевести степень риска из средней в высокую либо в низкую.

Безусловно, результаты электротомографии участков развития ОЭП необходимо использовать для разработки экстренных мероприятий по инженерной защите, направленных на снижение рисков развития аварийных ситуаций и минимизацию возможных ущербов, а также для разработки превентивных мероприятий по инженерной защите сооружений.

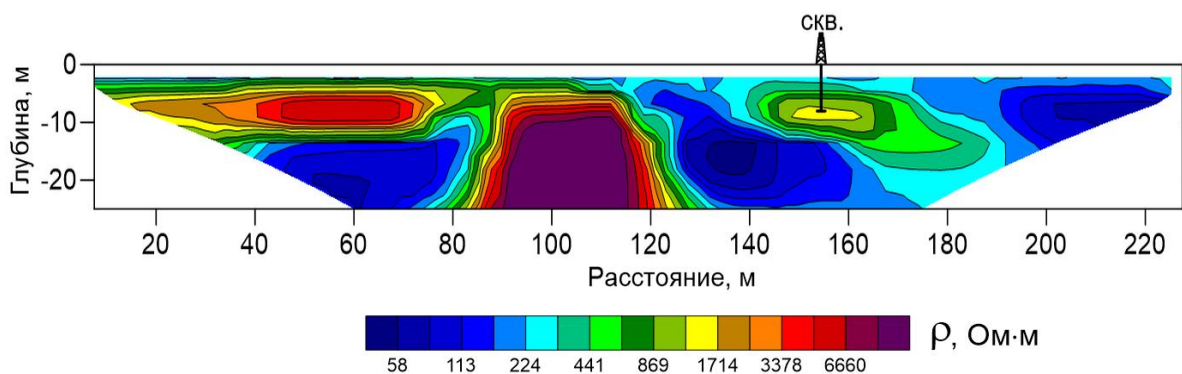


Рис.2. Геоэлектрический разрез вдоль автодороги на участке развития



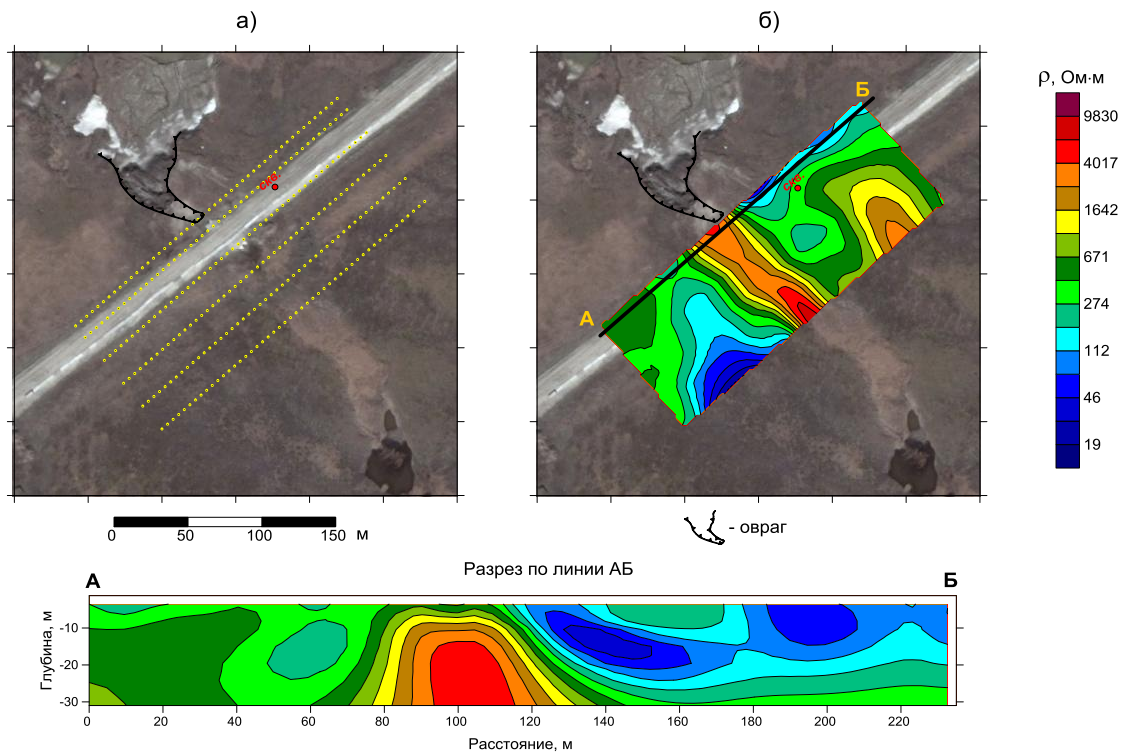


Рис. 3. Космоснимок местности, расположение профилей и скважины (а), карта изом по глубине 15 м (б) и геоэлектрический разрез по линии АБ по результатам 3-D инверсии

## Выводы

В результате опытно-методических работ было установлено, что к способам оценки влияния опасных

экзогенных процессов наряду с дешифрированием материалов аэросъемки, рекогносцировочными маршрутными исследованиями, геодезическими и температурными замерами следует отнести и исследования методом электротомографии. При этом решаемые задачи, позволяющие оценить риски поражения инженерного сооружения опасными экзогенными процессами и сделать прогноз их развития, сводятся к следующему:

- определение состава, мощности, льдистости четвертичных отложений;
- выявление литологического строения массива горных пород и зон повышенной льдистости;
- оконтуривание подземных льдов;
- определение глубины залегания кровли многолетне-мерзлых грунтов (мощности сезонно-талого слоя);
- определение состава, состояния и свойств мерзлых грунтов в массиве, их изменений (во времени и пространстве);
- изучение криогенных процессов и их динамики;
- проведения мониторинга опасных криогенных процессов.

Для получения максимально полной информации по объекту необходимо проведение площадных измерений ЭТ с целью построения трёхмерной геоэлектрической модели участка.

Контрастное различие по удельному электрическому сопротивлению льда и вмещающих пород дает основание применять экспрессную технологию электротомографии для

картирования подземных льдов и прогноза направления и масштабов развития опасных экзогенных процессов. Для обеспечения достоверности и точности интерпретации результатов геофизических исследований результаты электротомографии необходимо привязывать к инженерно-геологическим скважинам и другой априорной информации по участку работ.

## Литература

- Балков Е. В., Панин Г. Л., Манштейн Ю. А., Манштейн А. К., Белобородов В. А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика, 2012, №6, с. 54-63.
- Бобачев А.А., Горбунов А.А. Двумерная электроразведка методом сопротивлений и вызванной поляризации: аппаратура, методики, программное обеспечение // Разведка и охрана недр, 2005, N12, с. 52–54.
- Рыжакова О.А. Техническое заключение по оценке динамики опасных экзогенных процессов в пределах трасс линейно-протяженных объектов ГП-2 Бованенковского НГКМ (по результатам работ за 2013 год) // Техническое заключение ИТЦ ООО «Газпром Добыча Надым». Отв. исп. О.А. Рыжакова. Надым. 2014.– 19 с.
- Фролов А. Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. — Пушино. ОНТИ ПИЦ РАН, 1998, — 515 с.
- СП 11-105-97. «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. «Правила производства геофизических исследований» / Госстрой России. - М.: Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя России, 2004.
- Loke M.H. 2009, Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys, RES2DINV Manual, IRIS Instruments.

## Современные криогенные процессы в зоне полярных пустынь Северного острова Новой Земли

П.Т.Орехов, Д.С.Дроздов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Криогенные процессы в условиях высокоширотной Арктики в связи с их активной средообразующей функцией играют ключевую роль в формировании ландшафтной структуры территорий. Возникновение, развитие, распространение, характер проявления и динамика криогенных процессов, определяется комплексом условий геолого-географической среды. Комплекс и пространственное распределение криогенных процессов в южной подзоне зоны полярных пустынь Новой Земли (северная оконечность) оценен по дешифрированию космоснимков с последующей верификацией при аэровизуальном обследовании и наземной рекогносцировке. Рассмотрено сочетание климатических, геолого-геоморфологических и геокриологических факторов, определяющих специфику их проявления.

**Ключевые слова:** полярная пустыня, каменные кольца, морозобойное растрескивание, солифлюкция, нивация.

### Geocryological Processes in the Arctic Desert (Northern Part of Novaya Zemlia)

P.T.Orekhov, D.S.Drozhdov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Cryogenic processes in high-latitude Arctic in connection with their active environmental functions play a key role in shaping the landscape structure of the territories. The origin, evolution, extent and dynamics of cryogenic processes are controlled by a complex of geological conditions and geographical environment. The list and the spatial distribution of cryogenic processes in the southern subzone of the polar desert at Novaya Zemlya (northern end) is estimated at deciphering satellite images, followed by verification with the aerial survey and ground reconnaissance. Considered a combination of climatic, geological and geomorphic and permafrost factors that detect the specificity of cryogenic processes.

**Key words:** stone rings, frost cracking, solifluction, nivation.

### Введение

Криогенные геосистемы Северного острова Новой Земли относится к наименее изученным территориям Российской Арктики по всему спектру составляющих их компонентов.

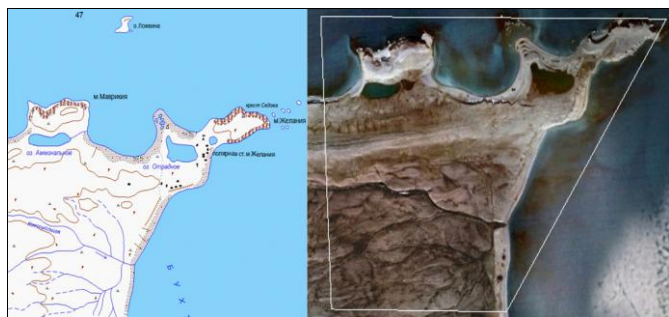


Рис.1. Карта-схема района работ и фрагмент космического снимка

Специальные работы проведены в районе Мыса Желания (рис.1) и включали в себя предварительное камеральное дешифрирование космических снимков, проведение

аэровизуальных наблюдений, полевые маршрутные работы. Рассмотрены условия, определяющие развитие и пространственное распределение криогенных процессов, как одного из ведущих факторов функционирования криогенных геосистем южной полосы полярных пустынь.

### Климатические условия

Согласно схеме климатического районирования Арктики северная оконечность Новой Земли расположена в восточном районе Атлантической климатической области, с наиболее суровыми климатическими условиями [Прик 1971]. Суточная изменчивость температуры очень велика, ветры преимущественно юго-западные, преобладает пасмурное небо, осадки часты, но количество их невелико. Среднегодовая температура воздуха на Мысе Желания составляет  $-9,6^{\circ}\text{C}$ . Период с положительными температурами – с 24 июня по 14 августа – 81 день. Сумма среднесуточных положительных температур за теплый период года составляет  $135^{\circ}\text{C}$ . Период с устойчивыми морозами начинается со 2 октября и продолжается до 7 июня, продолжительность периода составляет 249 дней.



Температура поверхности почвы распределяется по территории аналогично температуре воздуха, но более пестро, поскольку зависит от свойств почвы, особенностей микрорельефа и покровов. Средние месячные температуры поверхности почвы отличаются от соответствующих температур воздуха незначительно: зимой поверхность почвы холоднее воздуха на 1...3°C, летом теплее на 1...2°C. Среднегодовая влажность воздуха составляет 86%. Среднегодовое количество осадков, приведенное к показаниям осадкомера, на Мысе Желания составляет 207 мм. Наименьшее количество осадков приходится на февраль, наибольшее – август. Снежный покров начинает формироваться с 8 сентября и полностью сходит ко 2 июля. Устойчивый снежный покров формируется ко второй декаде октября и существует до 2 декады июня. Наибольшая средняя высота снежного покрова по данным снегомерных съемок на последний день декады составляет 31 см. Средняя плотность снежного покрова при наибольшей декадной высоте составляет 0,34 г/см<sup>3</sup>. Число дней со снежным покровом 285 [Справочник... 1965, 1968].

### Растительность

Растительность в северной части Северного острова Новой Земли относится к южной полосе полярных пустынь, однако сведений очень мало и они носят самый общий характер. Своеобразный характер флоры Новой Земли объясняется взаимодействием основных факторов: морского климата, молодость флоры и геоморфологии, расчлененность рельефа и преобладанием каменных субстратов [Александрова 1959]. Описание общего характера приводит А.И. Зубков (1934 г.) (цит. по В.Д. Александровой [1983]). «Свободные от ледника пространства северо-восточного побережья несут скудную растительность разбросанную единичными экземплярами, и только небольшими участками встречаются фрагменты фитоценозов. Отсутствие снежного покрова в одних местах и чрезмерное скопление в других приводит к тому, что как в том и другом случае создаются крайне не благоприятные условия для растительности. По пологим южным склонам и всюду, где снег сдувается сильными ветрами, среди камней можно видеть единичные экземпляры *Saxifraga oppositifolia*, поселяющейся под защитой микрорельефа».

В местах аккумуляции снега растительность создаёт небольшие фрагменты фитоценозов, однако благодаря позднему таянию снега роль цветковых незначительна. Здесь встречаются главным образом лишайники с немногими видами цветковых, как например *Cerastium rigellii*, *Poa alpigena*, *Oxyria digyna*. На переувлажненных склонах разной экспозиции и в плоских котловинах распространены каменисто-полигональные образования где на полигонах растут единичные экземпляры *Saxifraga oppositifolia*, *Cerastium rigellii*, *Draba alpina* и др.. На краях полигонов, на каменистых кольцах развита *Setaria delisei*, налипные лишайники и мхи из рода *Drepanocladus* (рис.2а). В сырых местах, по стокам талых вод, по берегам луж встречаются небольшие участки с кочками *Deschampsia borealis*, или фрагменты злаково-гипновых фитоценозов типа болотных (рис 2б). Наиболее разрежен растительный покров щебенчато-глинистых участков полярных пустынь

по прибрежным террасам. Здесь отдельные дернины травянистых многолетников (*Papaver radicum*, *Saxifraga caespitosa*, *S. oppositifolia*, *Draba alpina*) вместе с мхами и лишайниками сохраняются лишь среди камней, защищающих их от зимних метелей (2в) [Пояснительный... 1941].

Рис.3. Растительность на Мысе Желания. а) фрагменты мохово-



лишайниковых фитоценозов с единичными экземплярами цветковых растений на каменисто-полигональных образованиях, б) злаково-моховые фитоценозы в местах избыточного увлажнения, в) разреженный растительный покров на щебенчато-глинистых участках

### Геолого-геоморфологические условия

На Новой Земле к зоне полярных пустынь относится самая северная часть Северного острова. Большую же часть этой территории занимает ледяной щит, высота которого здесь достигает 1000 м. Узкая полоса свободной от льда суши местами сходит на нет и расширяется у мыса Желания, где она представлена докольной предгорной экзарационной равниной (e, d; pH) переходящей в морскую аккумулятивно-денудационную равнину изрезанную реками и ручьями берущими начало у ледникового щита (рис.3).

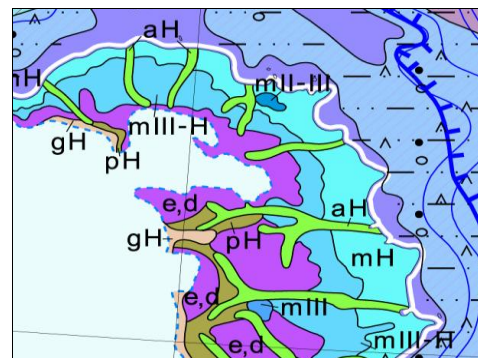


Рис.3. Фрагмент карты четвертичных образований [Костин 2006]. Белая линия – граница суши и акватории (обозначения в тексте)

Четвертичные отложения достигают заметной мощности лишь на морских террасах в интервале абсолютных отметок от 0 до 300 м. В пределах изучаемой территории выделяют средне-верхнечетвертичные, верхнечетвертично-голоценовые и голоценовые отложения представленные разнообразными генетическими типами: морскими, ледниково-морскими, аллювиальными террасовые комплексы. Склонах покрыты элювиально-делювиальными и делювиально-коллювиальными нерасчлененными четвертичными отложениями (см.рис.4).

Морские отложения (m II-III) среднего-верхнего звена представленные кумжинской свитой фрагментарно развиты в пределах морской равнины в интервале высот 200-300 м и представлены морскими литоральными и сублиторальными песками, глинами и галечниками, общей мощностью от 1 до 15 метров. Морскими отложениями (m III-H) сформирован чехол аккумулятивно-абразионных террас высотой 40-60(80), 20-40, 10-20, 6-10 м. Это – галечные, дресвяно- и

песчано-валунные, реже супесчано-суглинистые отложения. Морские голоценовые образования (m Н) слагают пляж и чехол нижней морской террасы (высотой 3-4 м) и представлены главным образом песчано-галечными и дресвяно-галечными отложениями. В приустьевых частях долин и в кутах заливов они сливаются с аллювиально-морскими (am Н) и аллювиальными (a Н) отложениями, также грубообломочными. Мощность 1-20 м [Костин 2006].

## Геокриологические условия

### Температура пород

Архипелаг Новая Земля характеризуется сплошным распространением мерзлоты. Сезонноталый слой – от 0,1 до 3,2 м. К.А.Кондратьева [1979] выделяет шесть геотемпературных зон в интервале среднегодовых температур пород от 0 до -11°C. Температура пород на голоценовых морских террасах в районе Мыса Желания составляет от -5...-7°C; на более высоких геоморфологических уровнях -7...-9°C при мощности ММП 300-500 м и более [Кондратьева 1979, Matzko 1993]. Все цифры – расчётные.

### Криогенные процессы

Криогенные процессы в районе Мыса Желания имеют повсеместное распространение. На прибрежной равнине широко развиты формы морозного выпучивания (каменные кольца, пятна медальоны), в долинах рек (ручьев) и на пологих склонах – морозобойное растрескивание. При увеличении крутизны на склонах развита солифлюкция, на щебнисто-глыбовых склонах курумы-полосы и курумы-поля. В результате криогенного выветривания коренных пород образуются останцы различных форм и сохранности. [Геокриология, 1988]. Широко распространена нивация.

**Криогенная сортировка** обломочного материала и мелкозёма наиболее распространена на поверхности верхнеплейстоценово-голоценовых аккумулятивно-абразионных террас, на участках сложенных дресвяно-супесчаным, валунно-песчаным и глыбово-щебнистым материалом. При сортировке образуются каменные многоугольники, каменные кольца и каменные полосы (рис.4).

Размеры каменных многоугольников варьируют от 0,5 м до 1,5 м, ширина каменных бордюров колеблется от 0,1 до 0,5 м, каменный материал в большинстве случаев вертикально ориентирован. Размер обломков 5-15 см на бордюрах и 1-5 см в центре многоугольников. В центре многоугольников преобладают песчаные и супесчаные грунты с содержанием каменного материала от 20-40%. Сортировка наиболее совершенна в приповерхностной части разреза. Главными факторами сортировки материала является заложение трещинной полигональной сети за счет усыхания грунтов, вымораживание крупных обломков на поверхность, вспучивание мелкозёма при промерзании, миграция воды как вверх, так и по направлению к трещинам, явления крипа [Попов 1967]. Процессы морозной сортировки каменного материала находятся в активной стадии, о чем говорит выпуклая форма и отсутствие растительности в центральной части многоугольников, а так же процессы отмирания мхов на наиболее высоких частях бордюров.

Рис.4. Каменные многоугольники и полосы на абразионной террасе: А – на горизонтальной поверхности; Б – на пологом склоне с суффозионным выносом мелкозёма между щелью



На аллювиальных отложениях в долине реки Комсомольская, ее крупных и мелких притоков и на морских голоценовых отложениях пляжа и первой морской террасы широко развито **морозобойное растрескивание** с образованием крупных полигонов. Полигоны сформировавшиеся в долинном речном комплексе можно разделить на две группы: крупные имеющие вытянутую пятиугольную форму и размер 30x15 м ( $\pm 1-3$  м) и мелкие правильные пятиугольные полигоны, имеющие размеры 15x12 м ( $\pm 1-3$  м). На участках речной долины имеющих уклон более 5-7° полигоны либо имеют неправильную форму, либо маскируются, либо не образуются, замещаясь системой перпендикулярных тальвегу долины морозобойных трещин длиной 15-50 м по которым идет активная эрозия и термоэрозия атмосферными водами и водами от снеготаяния.

На геоморфологических уровнях пляжа и первой морской террасы формы морозобойного растрескивания также представлены полигонами неправильной формы с извилистыми границами (что вероятно связано с изменчивостью состава отложений), которые пересекаются системой перпендикулярных берегу трещин длиной 30-150 м., интенсивно осваиваемых **эрозией** (рис.5).



Рис.5. Перпендикулярные берегу осваиваемые эрозией морозобойные трещины

По морозобойным трещинам закладываются ложбины стока, по которым происходит интенсивный вынос материала и в краевых частях террас формируются конусы выноса и делювиальные шлейфы (рис.6) Сами трещины с поверхности часто оказываются почёркнуты крупным каменным материалом в результате **суффозии** мелкозёма.

Процессы **солифлюкции** проявляются на пологих поверхностях верхнеплейстоценово-голоценовых террас в виде парагенетических комплексов «каменных полос» образованных в результате криогенной сортировки

каменного материала и медленной солифлюкции на поверхностях имеющих уклон. Более ярко процессы солифлюкции выражены на участке в прибрежной части морской террасы высотой 7-8 м в заливе между мысом Маврикия и мысом Желания ближе к озеру Аммональному (рис.7). В борту террасы имеются характерные признаки медленного течения грунтов в виде отдельных языков и ступенчатого микрорельефа поверхности..



Рис.6. Эрозия по морозобойным трещинам



Рис.7. Солифлюкцией измята "просвечивающая" слоистость коренных пород в супесчано-щебнистом элювии на пологой поверхности цокольной террасы

**Нивация** наблюдается в северных бортах морских террас, где температурные условия в течение долгого времени позволяют существовать снежникам в период с положительными температурами воздуха (рис.8). В результате в береговых уступах формируются нивационные ниши, а интенсивный вынос разрушенного мелкозёма тальми водами из-под снежников формирует аккумулятивные полосчатые формы на пляже, которые часто имеют парагенетический характер в связи с наложением материала делювиальных шлейфов.



Рис.8. Формирование конусов выноса на пляже за счёт выноса материала из-под снежника

## Выводы

На примере северной оконечности Новой Земли названы факторы, очерчен комплекс, определено пространственное распределение криогенных процессов для условий южной подзоны полярных пустынь. Интенсивность и характер

проявления того или иного процесса определяется конкретным сочетанием ландшафтно-климатических, теплофизических, геолого-геоморфологических и геокриологических условий. На севере Новой Земли низкие среднегодовые температуры воздуха, длительный холодный период и маломощный снежный покров обуславливают формирование суровых геокриологических условий со сплошным распространением низкотемпературных многолетнемерзлых и морозных пород. В коротких теплых период года, частые переходы температуры через 0°C и приходящееся на него максимальное количество осадков в сочетании с геолого-геоморфологическими факторами, такими как преобладание скальных и полускальных пород в сочетании с рыхлыми породами, удерживающими влагу в слое сезонного протаивания, и разреженным растительным покровом создают благоприятные условия для интенсивного развития криогенных процессов морозного выветривания, морозной сортировки, морозобойного растрескивания и развития криогенных склоновых процессов.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фундаментальных программ VIII.75.1 и VIII.77.2, интеграционных проектов СО РАН – ДВО РАН № 9 и СО РАН № 144, ОНЗ РАН № 12, госзаданий Минобрнауки № 9093 и № 1082, грантов Президента РФ НШ-5582.2012.5, РФФИ-РГО-13-05-41509 РГО, РФФИ 13-05-00811, 13-08-91001-АНФ-а, 14-05-00956, 15-55-71004\15, международных программ TSP, LCLUC, CALM, GTN-P, SWIPA, Администрации ЯНАО.

## Литература

- Александрова В. Д. Растительность полярных пустынь СССР. – Л., 1983.
- Александрова В.Д. Некоторые закономерности размещения растительного покрова в арктической тундре. // Проблемы Севера, АН СССР. 1:173-87, 1959.
- Геокриология СССР. Европейская территория СССР / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1988, 358 с.
- Кондратьева К.А. Мерзлотно-температурная карта Новой Земли в масштабе 1:250000. // Мерзлотно-исследования. – М.: 1979, вып. XVIII, с. 80-101
- Костин Д.А. Кайнозойская эратема. Четвертичная система.//Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Т-41-44 – Мыс Желания. Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006, с.72-89.
- Павлов А.В., Малкова П.В. 2005. Современные климатические изменения на севере России: Альбом общих карт. – Новосибирск: Акад. Изд-во "Гео", 2005. – 54 с.
- Попов А.И. Мерзлотно-явления в земной коре (криолитология). – М., 1967.
- Пояснительный текст к карте растительности СССР в масштабе 1:5 000 000 / Ред. проф. Е.М. Лавренко; АН СССР, Ботан. ин-т им. акад. В.Л. Комарова. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1941. - 131, [1] с.
- Прик З.М. Климатическое районирование Арктики // Труды ААНИИ, 1971, т. 304.-С. 18-35.
- Справочник по климату СССР. Выпуск 1. Архангельская и Вологодская обл., Карельская и Коми АССР. Часть 2. и Часть 4. – Л.: Гидрометиздат, 1965. – 360 с.; 1968. – 348 с.
- Matzko John R. Physical environment of the Underground Nuclear Test Site on Novaya Zemlya, Russia/ Open-file report/Restone, Virginia. 1993.

## Некоторые аспекты эмпирической проверки вероятностной модели развития антропогенно-иницированного термокарстового процесса с помощью дистанционного зондирования.

Т.В.Орлов, А.С.Викторов, С.А.Садков, Е.Г.Панченко, А.В.Зверев  
Институт геоэкологии им. Е.М.Сергеева РАН, Москва

### Реферат

Рассмотрены вопросы верификации вероятностной модели развития антропогенно-иницированного термокарста для двух участков в Центральной и Южной Якутии с помощью дистанционных данных. Используемая модель может быть использована для увеличения качества точности прогноза развития термокарстовых процессов

**Ключевые слова:** вероятностная модель; данные дистанционного зондирования; математическая морфология; термокарст; техногенные объекты; трубопровод.

## Some Aspects of Empirical Verification of Stochastic Model of the Human Caused Thermokarst Using Remote Sensing Data

T.V.Orlov, A.S.Victorov, S.A.Sadkov, E.G.Panchenko, A.V.Zverev  
Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS), Moscow, Russia

### Abstract

There are verified stochastic model of the human caused thermokarst propagation for two sites in Central and South Yakutia regions. Remote sensing data is used. This model can be used for increasing quality and precision of the thermokarst propagation forecasting.

**Key Words:** mathematic morphology; remote sensing data; stochastic model; thermokarst; pipelines.

### Введение

В настоящее время наблюдается широкий захват строительством новых, в том числе очень сложных и ответственных объектов новых участков криолитозоны. В первую очередь это такие сложные и протяженные объекты как трубопроводы, железные дороги, а также другие более локальные сооружения. В тоже время закономерности воздействия опасных геологических процессов, сопутствующих освоению криолитозоны до конца не изучены. Особенную сложность представляет изучение опасных геологических процессов значительного пространственного распространения, например массовое развитие термокарста при строительстве протяженных линейных сооружений. Учет, оценка и прогнозирование подобного рода процессов представляют особую важность при проектировании новых техногенных сооружений в криолитозоне.

Целью данной работы является эмпирическая проверка вероятностной модели развития озерно-термокарстовых равнин [Викторов 1995, 1998, 2006, Капралова 2008, 2014] для случая заведомо синхронного старта термокарстовых процессов и пропорциональности скорости роста понижений плотности тепловых потерь через боковую поверхность озера при воздействии также и случайных факторов. Основные положения модели следующие [Викторов Капралова Орлов и др. 2015]:

- процесс появления термокарстовых понижений происходил за короткий отрезок времени («синхронный старт»); он являлся вероятностным и на непересекающихся площадках шел независимо, при этом вероятность возникновения понижений на пробной площадке зависит только от ее площади ( $\Delta s$ ); для малых площадок вероятность возникновения одного понижения много больше, чем вероятность возникновения нескольких понижений, то есть:

$$p_1 = \gamma \Delta s + o(\Delta s)$$

$$p_k = o(\Delta s) \quad k = 2, 3, \dots$$

- рост размеров термокарстовых понижений благодаря термообразному воздействию, происходит независимо друг от друга, и он прямо пропорционален запасам тепла в понижении и обратно пропорционален площади боковой поверхности понижения (условно названо «логарифмический рост»).

Из справедливости высказанных положений строго вытекает [Карлин 1971], что распределение числа термокарстовых понижений (центров) на случайной выбранной площадке подчиняется закону Пуассона [Викторов 1995, 2006], то есть,

$$P(k, s) = \frac{(\gamma s)^k}{k!} e^{-\gamma s}$$

где  $\gamma$  - среднее число понижений на единицу площади,  $s$  - площадь пробной площадки. Из анализа положений вытекает также логнормальный вид распределения размеров (площадей) понижений [Викторов 1995, 2006].

При этом в данной работе рассматриваются только первичные понижения, заполненные водой, на самом старте термокарстового процесса [Перлыштейн Павлов Левашов Сергеев 2005].

### Материалы и методы

Для проверки описанной выше модели были выбраны два участка с развитием первичных термокарстовых процессов.

Центрально-Якутский участок характеризуется среднегодовыми температурами воздуха  $-7^{\circ}\text{C}$ , пород  $-2...-4^{\circ}\text{C}$ . Средне годовое количество осадков 260 мм. Развитие ММП – 300-400 м. Участок находится в пределах денудационного слабоволнистого наклонного плато, сложенного элювием юрских песчаников.

Южно-Якутский участок характеризуется среднегодовыми температурами воздуха  $-9,5^{\circ}\text{C}$ , пород  $-1^{\circ}\text{C}$ . Средне годовое количество осадков 570 мм, прерывистая зона распространения ММП мощностью 30-150 м. Участок находится в пределах денудационно-тектонического плоскогорья, сложенного элювиальными суглинками и супесями с дресвой.

Формирование понижений заполненных водой происходит на площадке, расчищенной от почвенно-растительного покрова при подготовке строительства.

Для Центрально-Якутского участка были подобраны снимки WorldView – 2 с разрешением 0,5 м/пикс. Снимки были сделаны через год после снятия почвенно-растительного покрова. На снимках зафиксирована стадия формирования начальных термокарстовых понижений. Общая площадь рассматриваемого участка составила 0,1 км<sup>2</sup>. На рисунке 1 Приведен пример изображения Центрально-Якутского участка.

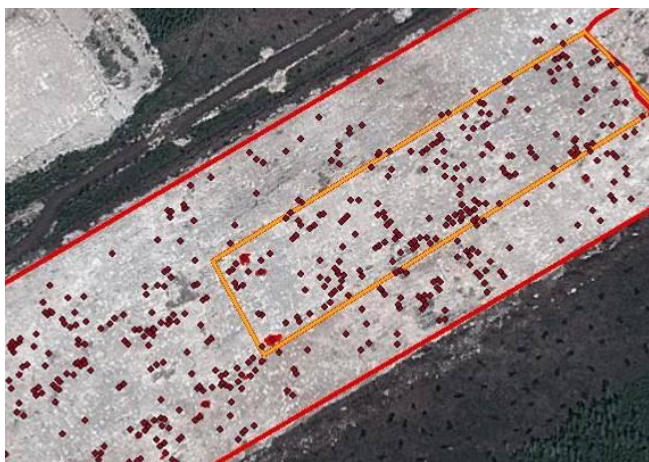


Рис. 1. Фрагмент изображений World View для Центрально-Якутского участка (первичные понижения – красные точки, рыжий контур – зона проверки закона распределения, красный контур – весь изучаемый участок)

Для Южно-Якутского участка были подобраны аэрофотоснимки с разрешением 0,2 м/пикс и космические снимки Pleiades с разрешением 0,5 м/пикс. Аэрофотоснимок был сделан через год после начала подготовки полосы для строительства магистрального трубопровода. На нем зафиксирована стадия формирования начальных термокарстовых понижений. Космический снимок был сделан через 4 года после начала подготовки полосы для строительства магистрального трубопровода. На нем зафиксирована стадия развития начальных термокарстовых понижений. Размер полосы для проверки модели составил 26 км в длину, 50 м в ширину. Полоса была разделена на однородные с точки зрения проявления процессов зоны. Каждая зона имеет линейную однородность, такую, что каждое сечение зоны подобно по структуре любому другому сечению. Понятие линейной однородности приходится вводить т.к. в пределах полосы изучения находятся следующие объекты: трубопровод (валик трубы), ЛЭП, вдольтрассовая дорога. Но т.к. эти объекты присутствуют везде в пределах полосы, можно говорить о линейной однородности рассматриваемого участка.

На рисунке 2 (а,б). приведен пример изображения Южно-Якутского участка.

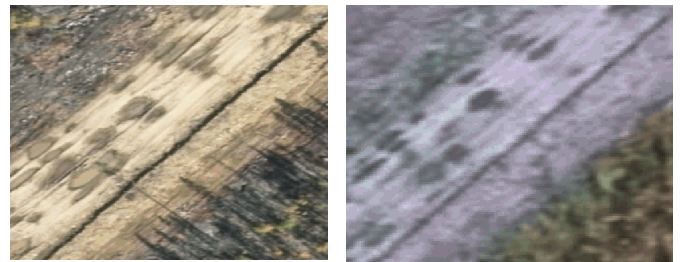


Рис. 2. Южно-Якутский участок: а) – аэрофотоснимок, б) космический снимок

Также для Южно-Якутского участка проводятся компенсационные мероприятия по борьбе с развитием термокарстовых процессов. Для нашего анализа выбирались участки с минимальным присутствием компенсационных мероприятий.

Для проверки модели были определены следующие параметры:

- распределение размеров первичных термокарстовых понижений;
- распределение пространственного положения центров первичных термокарстовых понижений.

В соответствии с положениями модели распределение размеров должно иметь логнормальный характер, а распределение числа центров на случайной площадке первичных термокарстовых форм должно соответствовать закону Пуассона.

Размер первичных понижений для Центрально-Якутского участка оказался слишком мал, чтобы анализировать распределение размеров, поэтому для этого участка проверялось только распределение положения центров.

## Результаты

Для центрально-якутского участка был выбран наиболее однородный фрагмент изображения. В результате анализа было показано, что распределение числа центров на случайной площадке для этого участка соответствует закону Пуассона.

На рис. 3 приведены графики соответствия положения понижений закону Пуассона

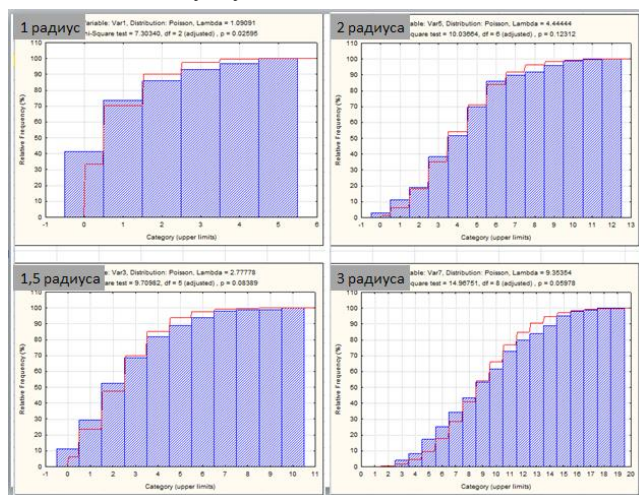


Рис. 3 Соответствие положения понижений закону Пуассона

Для южно-якутского участка было выбрано четыре зоны с первичным развитием термокарстовых процессов. Для трех зон из четырех распределение площадей понижений для обоих сроков съемки имеет логнормальный характер. Для двух зон из четырех распределение положения числа проекций центров понижений на линию трубопровода соответствует закону Пуассона. На рис.4 приведены графики соответствия числа понижений на выбранном отрезке закону Пуассона.

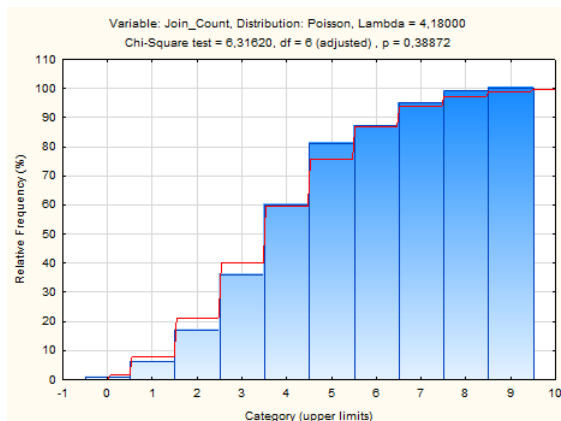


Рис. 4 приведены графики соответствия числа понижений на выбранном отрезке закону Пуассона для одной из зон.

## Выводы

В результате работы была показана возможность использования вероятностного моделирования методами математической морфологии ландшафта для условий одновременного старта антропогенно инициированных термокарстовых процессов при малом времени развития.

Исходно проверяемая модель не предназначалась для использования в подобных ситуациях. Эта модель была рассчитана для условий многолетнего развития термокарстовых процессов. Однако, успешность применения модели для супер малых временных интервалах позволяет сделать вывод о ее применимости и для подобных ситуаций. Использование приведенной модели для однородных условий позволит повысить точность прогностических оценок, в том числе и при оценке риска развития термокарста.

Проведенную проверку можно считать только первичной. Модель требует дальнейшей апробации для подобных условий (резкий массовый старт антропогенно-инициированных термокарстовых процессов). Авторы продолжают работу по поиску таких ситуаций и будут благодарны за любую помощь в данном вопросе.

## Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00357)

## Литература

- Викторов А.С. Математическая модель термокарстовых озерных равнин как одна из основ интерпретации материалов космических съемок. Исследование Земли из космоса №5, 1995, с.42-50.
- Викторов А.С. Математическая морфология ландшафта. – М.: 1998, 180 с.
- Викторов А.С. Основные проблемы математической морфологии ландшафта. – М.: Наука, 2006, 252 с.
- Викторов А.С., Капралова В.Н., Орлов Т.В., Трапезникова О.Н., Архипова М.В., Березин П.В., Зверев А.В., Панченко Е.Н., Садков С.А. Анализ развития морфологической структуры озерно-термокарстовых равнин на основе математической модели // Геоморфология. 2015. № 3.
- Капралова В.Н. Использование данных дистанционного зондирования и методов математической морфологии ландшафта для изучения термокарстовых процессов // Международный год планеты Земля: задачи геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Сергеевские чтения. Вып. 10. – М.: ГЕОС, 2008, с. 430-434.
- Капралова В.Н. Закономерности развития термокарстовых процессов в пределах озерно-термокарстовых равнин (на основе подходов математической морфологии ландшафта)//Автореф канд. дисс. – М.: ИГЭ РАН, 2014, 24 с.
- Карлин С. Основы теории случайных процессов. М.:Мир, 1971. – 536 с.
- Перльштейн Г.З., Павлов А.В., Левашов А.В., Сергеев Д.О. Нетемпературные факторы теплообмена деятельного слоя с атмосферой // Материалы Третьей конференции геокриологов России, Москва, 1-3 июня 2005 г. – М.: МГУ, 2005, с. 86-91.
- Геокриология СССР. Средняя Сибирь. Под ред. Э. Д. Ершова. – М., 1989. 414 с.





## Создание обзорной геокриологической карты Большеземельской тундры на основе ландшафтного метода

Г.Г.Осадчая

*Ухтинский государственный технический университет, Ухта*

Н.В.Тумель, Т.Ю.Зенгина

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва*

Е.М.Лаптева

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*

### Реферат

Составлена геокриологическая карта Большеземельской тундры масштаба 1:1 000 000. Методической основой послужил ландшафтный метод. Пространственная изменчивость геокриологических характеристик получила отражение на трех уровнях: природных подзон, генетических ландшафтов, групп доминирующих урочищ. Границы геокриологических подзон детализированы на основе выявленных урочищ-индикаторов. В пределах каждой геокриологической подзоны для разновозрастных генетических поверхностей выделены участки с характерным сочетанием различных (по характеру растительности) групп урочищ. Каждый контур характеризуется на карте следующим набором геокриологических характеристик: температурой и распространением многолетнемерзлых пород (ММП), типом криолитогенеза верхней части грунтового разреза, комплексом криогенных процессов, глубинами сезонного промерзания-протаивания (СМС-СТС). Для выявления фоновых значений представленных характеристик ММП анализировалась структура генетических ландшафтов с учетом их принадлежности к конкретной геокриологической подзоне.

**Ключевые слова:** геокриологическое зонирование; ландшафты; урочища; характеристики многолетнемерзлых пород.

## The Development of the Review Geocryologic Map of Bolshezemelskaya Tundra on the Bases of Landscape Method

G.G.Osadchaya

*Ukhta State Technical University*

N.V.Tumel, T.Yu.Zengina

*M. V. Lomonosov Moscow State University*

E.M.Lapteva

*Biology Institute of Komi scientific center of the Ural office of the Russian Academy of Sciences*

### Abstract

The geocryologic map of Bolshezemelskaya Tundra at the scale of 1 : 1 000 000 was developed. The methodical basis of it creation was the landscape method. The spatial variability of geocryologic characteristics was submitted at three levels: natural subzones, genetic landscapes and the groups of the dominating natural stows. The boundaries of geocryologic subzones were detailed on the bases of identified stow-indicators. Within each geocryologic subzone the sites with a specified combination of various groups (according to the character of vegetation) of stows were allocated for different ages genetic surfaces. Each contour on a map was characterized by the following set of permafrost characteristics: temperature and permafrost distribution (PD), type of cryolithogenesis of the top part of soil profile, the set of cryogenic processes, the depths of seasonal frost penetration and thawing. To detect the background values of the presented characteristics of PD the structure of genetic landscapes taking into account their belonging to a concrete geocryologic subzone were analyzed.

**Key Words:** geocryologic zoning; landscapes; stows; permafrost characteristics.

### Введение

Опыт мелкомасштабного геокриологического картографирования Большеземельской тундры небогат. Наиболее известна геокриологическая карта масштаба 1:2 500 000, составленная под руководством Н.Г.Обермана [Oberman Mazhitova 2003], которая по сути – мерзотно-инженерно-геологическая. На ней впрямую не отражена мерзлотная зональность, показаны участки с

различным распространением ММП (принимаются во внимание верхние 10 м разреза) и их мерзотно-геологические характеристики. Схематические карты более крупного масштаба (1:1 000 000 и 1: 200 000) [Маслов и др. 2005; Осадчая 1989], составлены для отдельных частей криолитозоны региона и имеют разное информационное наполнение. Имеющаяся мерзотно-инженерно-геологическая карта масштаба 1:500 000, выполненная в 80-е годы институтом Печорнипинефть (г.

Ухта), является внутренней (ведомственной). Представленная на картах различных авторов информация отличается. Основная причина: часть карт чисто мерзлотно-инженерно-геологические, часть – классические мерзлотные, причем в названиях карт различия в подходах не отражены.

В 2015 г. закончено составление обзорной геоэкологической карты Большеземельской тундры М 1:1 000 000, выполненной в рамках проекта развития ООН ПРООН/ГЭФ 00059042. В качестве основного метода картографирования использовался ландшафтный.

### Морфологическая структура ландшафта – основа геоэкологического картографирования

Применение ландшафтного метода предполагало наличие достоверной информации о ландшафтах как индикаторах пространственной изменчивости криосферы [Кудрявцев и др. 1973]. Он наиболее результативен при среднемасштабных работах (1:25 000 – 1:100 000) на локальном уровне (урочища).

Фактологической основой послужили результаты многочисленных, преимущественно собственных, полевых материалов, включая крупномасштабные специальные карты. Их обобщение позволило определить основные геоэкологические характеристики для репрезентативных урочищ региона с учетом их зональной принадлежности [Осадчая Тумель 2012]. Урочища дифференцировались по типу растительности: лесные, болот и торфяников, тундровые, луговые, поемные. В случае сходства геоэкологических характеристик, они объединялись в группы.

Параллельно изучалась морфологическая структура собственно ландшафтов, которые выделялись в зависимости от их возраста и генезиса. В качестве основы использована Государственная геологическая карта РФ М 1:200 000, дополненная более поздними данными региональных исследований [Легенда... 1999; Иванов 2011; Лавриненко 2012; Оберман 2013]. Для определения количественных (площадных) показателей ландшафтной структуры использовались преимущественно собственные фактические материалы, полученные на ключевых участках. Всего анализировалась информация по 25 таким участкам, расположенным в разных природных подзонах. Площадь ключевых участков составляла в среднем от 100 до 1000 км<sup>2</sup>, на них имелись крупномасштабные мерзлотно-инженерно-геологические и ландшафтные карты, построенные по результатам полевых исследований. Таким образом, использовалась информация ландшафтно-индикационного характера по широкому спектру урочищ с их привязкой к конкретному ландшафту.

Далее для ключевого участка рассчитывалась морфологическая структура каждого из ландшафтов (процентное соотношение площадей различных видов урочищ) [Анненская и др. 1962]. Для конкретных ландшафтов по всем ключевым участкам природной подзоны в относительных единицах (%) определялось средневзвешенное значение распространения того или

инного урочища (или их укрупненных групп) с учетом анализируемой площади этого ландшафта.

Данные по морфологической структуре ландшафтов и геоэкологическим характеристикам слагающих их урочищ позволили перейти к определению границ между геоэкологическими зонами и подзонами. Принимая во внимание фоновые значения распространения ММП для каждого урочища/групп урочищ (%) и учитывая морфологическую структуру ландшафта можно рассчитать (в относительных единицах), какая часть ландшафта представлена участками с ММП. В результате анализа полученных расчетных значений были выявлены урочища-индикаторы, появление которых в структуре ландшафта свидетельствует о переходе из одной геоэкологической подзоны к другой [Осадчая Тумель 2012].

В основу геоэкологического зонирования положены классические представления о геоэкологических зонах и подзонах [Методика... 1970]. Вся криолитозона подразделяется на северную, где преобладают ММП, и южную, где доминируют участки без ММП. В северной криолитозоне выделяются подзоны сплошного и прерывистого распространения ММП. В первом случае сквозные талики занимают не более 10% площади подзоны, во втором – 10-50%. В южной криолитозоне выделяются подзоны массивно-островного и островного распространения ММП, для которых развитие современной мерзлоты фиксируется соответственно на 10-50 и менее чем на 10% площади подзоны.

Мощность современных ММП не оговаривается, то есть участки с ультрамаломощной мерзлотой (менее 3-5 м) можно считать мерзлыми. Также площади, где кровля мерзлоты заглублена, относим к многолетнемерзлым. Учет этих позиций крайне важен при проведении зонирования, так как в настоящее время широко используются методы космического дешифрирования, которые на подобных участках не всегда «срабатывают», указывая на отсутствие ММП. Также тальми участками «смотрятся» и несквозные талики, что приводит к неточностям при оценке мерзлотной ситуации.

Таким образом, для территории Большеземельской тундры были определены границы геоэкологических подзон, в том числе (условно) – южная граница современной криолитозоны. При необходимости границы уточнялись с помощью методов дистанционного зондирования [Осадчая Зенгина Королева 2013].

Для «наполнения» геоэкологической карты конкретной информацией необходимо в пределах ландшафтов и с учетом их зональной локализации, выделить участки с определенным сочетанием урочищ и, соответственно, набором мерзлотных характеристик. В этом случае на ландшафтную картографическую основу накладывалась геоботаническая.

Следует помнить, что криолитозона Большеземельской тундры в административном отношении приурочена к северной части Республики Коми (РК) и к Ненецкому автономному округу (НАО) Архангельской области. Для каждой административной единицы имеются обзорные карты растительности, но они разномасштабные и

отличаются по характеру отражения информации. Силами сотрудников Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, участвующих в проекте развития ООН ПРООН/ГЭФ 00059042, составлена единая для Большеземельской тундры оригинальная карта растительности масштаба 1:1 000 000, на которой отражены сочетания различных групп растительности для условий типичной, южной кустарниковой тундры, северной и южной лесотундры, северной части крайнесеверной тайги. Карта адаптирована к задаче использования ландшафтного метода для построения геокриологической карты, в легенде, в частности, при характеристике сочетаний растительности упоминаются индикаторные (для проведения геокриологического зонирования) растительные сообщества.

### Основное содержание геокриологической карты

В Большеземельской тундре присутствуют все зональные типы мерзлоты. Условно можно считать, что подзона сплошного распространения ММП соответствует подзонам типичной и южной кустарниковой тундр, прерывистого – северной лесотундре, массивно-островная – южной лесотундре, островная – северной части крайнесеверной тайги. На побережье Баренцева моря выделяется полоса азональных приморских ландшафтов; вдоль крупных рек – интразональные (долинный комплекс). Самые южные участки, где зафиксированы ММП, приурочены к междуречью рек Печора и Большая Сыня и к нижнему течению р. Кожим. Границы между геокриологическими подзонами неровные, что вызвано взаимовлиянием на них зональных и региональных факторов.

Выделено 8 основных ландшафтов (абс. отн. 55-330 м), а также ландшафты современных морских террас, морского побережья, речных долин. В их пределах выделено 22 варианта сочетания репрезентативных урочищ/групп урочищ. Верхняя часть грунтового разреза представлена преимущественно суглинком, реже – торфом. В северной части территории, тяготеющей к побережью, грунты преимущественно песчаные. В северной части территории, тяготеющей к побережью, грунты преимущественно песчаные. В основном они промерзали эпигенетически, за исключением торфов. Последние отличаются высокими значениями суммарной влажности, промерзали сингенетически, вмещают (в северной криолитозоне) полигонально-жильные льды небольшой (до 5,5 м) мощности.

Температуры ММП за последние десятилетия в разной степени повысились, их значения с юга на север закономерно понижаются от  $-0...-0,5$  до  $-0...-4,0^{\circ}\text{C}$ .

Разное сочетание фоновых урочищ определяет различное распространение ММП в пределах выделенных контуров. Особенно велико это разнообразие вне подзоны сплошного распространения ММП. Практически повсеместно в той или иной степени развиты несливающиеся ММП, особенно в подзоне их прерывистого распространения. Для этой же подзоны, а также, в меньшей степени, для подзоны массивно-

островного распространения ММП, характерна устойчивая к изменениям климата ультрамаломощная мерзлота.

В подзоне сплошного распространения ММП, приуроченной к южным кустарниковым тундрам, на тундровых участках широко развиты несквозные (глубиной до 10-20 м) талики, формирующиеся под межблочным понижениям. Для тундровых участков подзоны типичных тундр они менее характерны.

Несливающиеся ММП в сочетании с более высокими, чем в целом на севере, температурами, также характерны для азональных приморских ландшафтов.

Интразональные ландшафты, секущие южную криолитозону, преимущественно без ММП. В случае, если они секут северную криолитозону, ММП могут присутствовать на всех геоморфологических элементах речных долин, включая низкую пойму.

Криогенные процессы преимущественно зональны, их современная активность также зависит от локализации в той или иной геокриологической подзоне.

Сезонное протаивание (СТС) по глубине преимущественно среднее (в суглинках, реже торфах) и мелкое (в торфах, реже в суглинках), только на песках – глубокое. Широкий диапазон глубин СТС в пределах даже одного урочища (связано преимущественно с мозаичностью растительности) позволяет достаточно условно говорить о зональности этих глубин (исключение – участки развития органогенных грунтов).

Сезонное промерзание (СМС) по глубине преимущественно мелкое, реже среднее. Зонального увеличения глубин СМС с юга на север не отмечено.

В пояснительной записке к карте подробно описаны все представленные на ней геокриологические параметры с привязкой к конкретным урочищам/группам урочищ и в зависимости от зональной приуроченности.

### Выводы

1. Геокриологическая зональность в соответствии с ландшафтной проявляется в распространении мерзлых пород по площади и, в меньшей степени, в их температурном режиме. Последний в значительной степени определяется ландшафтными условиями на уровне урочищ. Даже в сплошной мерзлоте температура пород поднимается до  $-0^{\circ}\text{C}$ .
2. Сезонное протаивание и промерзание не коррелируются с ландшафтной зональностью, но четко связаны с урочищами, в первую очередь с составом пород, напочвенными покровами и мезорельефом.
3. Криогенные процессы и криогенное строение отчасти соответствуют ландшафтной зональности, но в значительной степени зависят от региональных ландшафтных категорий.
4. В целом ландшафтный метод составления геокриологических карт используется с разной эффективностью по отношению к объектам криолитозоны. Иерархические категории

ландшафтов по-разному соотносятся с определенными мерзлотными характеристиками.

### Литература

- Анненская Г.Н., Видина А.А., Жучкова В.К. и др. 1962. Морфологическая структура географического ландшафта. – М.: Изд-во МГУ, 1962. – 84 с.
- Иванов Н.Ф. 2011. Геолого-геоморфологическое строение Тимано-Печорской провинции // Проблемы управления в XXI веке: Материалы докладов Всероссийской научно-практической конференции (Ухта, республика Коми, Россия, 28-29 марта 2011 года). – Ухта: ИУИБ, 2011. – С. 3-19.
- Кудрявцев В.А., Гарагуля Л.С., Кондратьева К.А. и др. 1973. Ландшафтно-ключевой метод – основа мерзлотной и инженерно-геологической съемки // «Мерзлотные исследования» вып XIII. М., Изд-во МГУ, 1973.
- Лавриненко И.А. 2012. Ландшафтное разнообразие особо охраняемых природных территорий Ненецкого автономного округа / География и природные ресурсы. – № 2, 2012. – С. 43-51.
- Легенда Печорской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации М 1:200 000 (издание 2-е). 1999. Книга 1. Объяснительная записка. Книга 2. Легенда Печорской серии. / Составители Симвалова С.Е., Зархидзе В.С. Главный редактор В.С. Зархидзе. – Ухта, 1999. – Книга 1, 206 с., Книга 2, 18 с.
- Маслов А.Д., Осадчая Н.В., Тумель Н.В., Шполянская Н.А. 2005. Основы геокриологии: учебное пособие. – Ухта: Изд-во Института управления, информации и бизнеса, 2005. – 176 с.
- Методика комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки. 1970 / Под ред. К.А.Кондратьевой. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 353 с.
- Оберман Н.Г. 2013. Проблемы освоения европейского северо-востока страны / Горный журнал. – 9.2013 (№ 2193). – С.35-41.
- Осадчая Г.Г. 1989. Зональные и региональные закономерности формирования слоя сезонного промерзания-протаивания в западной части Большеземельской тундры. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. – М., 1989. – 17 с.
- Осадчая Г.Г., Тумель Н.В. 2012. Локальные ландшафты как индикаторы геокриологической зональности (на примере европейского северо-востока) // Криосфера Земли. – Том XVI, № 3, 2012. – С.62-71.
- Oberman N.G. & Mazhitova G.G., 2003. Permafrost mapping of Northeast European Russia based on the period of climatic warming 1970-1995. Norsk Geografisk Tidsskrift - Norwegian Journal of Geography, vol 57, No 2. – P.111-120.
- Osadchaya G.G., Zengina T.Yu. & Koroleva A.M. 2013. Landscape Mapping for the Purpose of Geocryological Zonation of the Bolshezemelsraya Tundra / International conference «Earth Cryology: XXI Century» (September 29 – October 3, 2013, Pushchino, Moscow region, Russia). The Program and Conference materials. – P.64-65.



## Реперная геодезическая сеть геокриологического мониторинга в районах распространения островной мерзлоты

Е.Н.Оспенников, В.З.Хилимонюк, С.Н.Булдович

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический ф-т, Москва*

Рассмотрена сохранность и работоспособность глубинных реперов геотехнического мониторинга в увязке с особенностями мерзлотно-грунтовой обстановки.

**Ключевые слова:** геокриологический мониторинг; мёрзлые породы; глубинные реперы; островная мерзлота.

## Geodetic Network of Benchmarks for Geocryological Monitoring in the Areas of Sporadic Permafrost

E.N.Ospennikov, V.Z.Hilimonyuk, S.N.Buldovich

*Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty, Moscow, Russia*

Safety and serviceability of deep benchmarks for geotechnical monitoring are reviewed in conjunction with the peculiarities of permafrost and soils

**Key words:** geocryological monitoring; permafrost; deep benchmarks; sporadic permafrost.

Сохранность и работоспособность глубинных реперов, предназначенных для организации и проведения геотехнического мониторинга на протяженных линейных объектах в значительной степени определяется особенностями мерзлотно-грунтовой обстановки.

Главной причиной выхода из строя глубинных реперов в областях многолетнемерзлых, сезоннооттаивающих пород и талых, сезоннопромерзающих пород являются два процесса: а) мерзлотное пучение и выпучивание конструктивных элементов реперов и б) тепловые осадки многолетнемерзлых пород в результате деградации мерзлоты. Эти процессы также тесно связаны с мерзлотно-грунтовыми условиями. Так величина пучения (выпучивания) определяется составом пород (пучинистые и непучинистые грунты), мощностью деятельного слоя, где этот процесс развивается (слои сезонного промерзания и оттаивания), увлажнением пород и некоторыми другими факторами. Возможность тепловых (термокарстовых) просадок поверхности и грунтовых толщ потенциально зависят от их объёмной льдистости.

Основываясь на этих положениях, была выполнена оригинальная типизация мерзлотно-грунтовых толщ территории размещения трубопроводной системы, применительно к выбору конструкции реперов и с целью определения мест их заложения на местности.

### Выводы

На территории островного распространения многолетнемерзлых пород следует предполагать существенную неустойчивость геокриологической обстановки и возможность изменения не только температурного режима пород, но и их физического состояния (мерзлое \ талое). Причем указанные

изменения могут явиться следствием даже весьма небольших нарушений поверхностных условий, от которых зависит теплообмен пород с внешней средой. и способны оказывать воздействие на устойчивость реперов. В этой связи необходимо выполнение прогнозной оценки влияния нарушений поверхностных условий на геокриологические условия и изучение динамики их вероятных изменений.

### Литература

- Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. / Под ред. В.А. Кудрявцев. – М.: МГУ, 1974.
- СП 25.13330.2012. Основания зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88.
- СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. ПНИИС Госстроя России, № 1997.
- ГКИНП-07-016-91. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. ГКИНП-07-016-91. Утверждены Роскартографией. - М., Картгеоцентр. - Геодезиздат, 1993.
- ГКИНП(ГНТА)-01-006-03. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. Москва, ЦНИИГАиК, 2004.
- П-070501. Правила закрепления центров пунктов спутниковой геодезической сети. Утверждены Роскартографией как дополнение к N 1 данного раздела 07.05.01. - М., ЦНИИГАиК, 2001.
- ГКИНП-21. Руководство по постройке геодезических знаков. ГКИНП-21. - М., Недра, 1969.
- Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. – М.: ГУГК СССР, 1992.

## Новая технология и аппаратура для определения абсолютного возраста криогенных образований посредством термолюминесцентного метода

А.Д.Писарев, В.С.Шейнкман

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Предлагается принципиально новая модификация термолюминесцентного метода, когда в качестве минерала-таймера берется широко распространенный в криогенных образованиях кварц и его возраст определяется по температуре максимума термолюминесценции. Основой метода является физическая и математическая модель естественного процесса накопления радиационных дефектов, являющихся центрами свечения в кварцевых песчинках при нагревании.

**Ключевые слова:** Геохронология; кварц; термолюминесценция, плейстоцен.

### New Technology and Equipment to Determine the Absolute Age of Cryogenic Formations by Dint of a Thermoluminescence Dating Method

A.D.Pisarev, V.S.Sheinkman

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

It was offered a fundamentally new modification thermoluminescence method, when as a mineral-timer was taken widespread in cryogenic quartz formations and its age was determined by the maximum temperature thermoluminescence. The method was based on the physical and mathematical model of the natural process of accumulation of radiation defects that were centers of luminescence in quartz at the heating.

**Key Words:** Geochronology; quartz; thermoluminescence, pleistocene.

### Введение

Термолюминесцентный (ТЛ) метод охватывает диапазон абсолютного датирования горной породы в несколько сотен тысяч лет, чем является особенно привлекательным для изучения криогенных образований, возраст большинства которых принадлежит этому периоду.

Метод основывается на простой формуле: возраст породы равен отношению полученной дозы радиоактивного облучения минерала-таймера к мощности экспозиционной дозы естественного радиационного поля грунта в точке отбора пробы. В качестве минерала-таймера используется песчаная фракция кварца, экстрагированного специальным образом из изучаемой горной породы. Измерение полученной радиоактивной дозы минералом-таймером практически возможно только косвенным способом, в нашем случае – по ТЛ выплеску. Процесс ТЛ датирования заключается в регистрации интенсивности люминесценции, возникающей при нагревании образцов кварца, изначально отобранных и экстрагированных из горных пород. Традиционный метод определения полученной дозы путем измерения интегральной характеристики ТЛ выплеска имеет ряд существенных недостатков, обсуждаемых в ряде научных публикаций [Шейнкман Мельников 2011]. Поэтому авторами была

поставлена цель – найти подход к датированию, лишенный недостатков традиционного метода, связанных с оптическими измерениями и искусственным облучением минералов дозиметров. Новый метод потребовал более глубокого понимания физического процесса и построения для него математической модели накопления центров свечения в кварце.

В рамках данной статьи авторы предлагают результаты разработки новой технологии определения абсолютного возраста четвертичных отложений, основанной на физико-математической модели процессов накопления центров свечения в кварце в природных условиях и формировании кинетики ТЛ процесса при проведенных авторами экспериментах.

### Накопление центров свечения в кварце

Для создания физико-математической модели ТЛ процесса нами было изучено накопление метастабильной энергии в кварце, при облучении его в естественном радиоактивном поле. В природных условиях изотопы, содержащиеся в горных породах, бомбардируют кварцевый песок продуктами радиоактивного распада и при этом в определенных случаях генерируют радиационные дефекты [Раков 2007]. Как правило из-за небольшой проникающей способности альфа- и бета-облучений образуются радиационные дефекты только в поверхностном слое песчинок кварца и их вклад в ТЛ

выплеск минимизируется при специальной пробоподготовке. Основную роль играют радиационные дефекты, образуемые в любой точке кварцевой песчинки гамма-частицами. Механизм образования таких дефектов объясняется внутренним гамма-электронным фотоэффектом, в результате которого электрон получает энергию (около 1 МэВ) достаточную чтобы сдвигать в междоузелье атом кислорода и порождать свободные электроны (электроны отдачи). Электроны отдачи, получив добавочную энергию, также попадают в атомы кислорода, ионизируют и сдвигают их из узлов кристаллической решетки. Каскад соударений, изначально порождённый гамма-частицей, образует некоторую область радиационного нарушения структуры кристалла, состоящую из нескольких узлов с дефектами. В первичном состоянии они представляют собой некоторое количество расположенных рядом пар Френкеля – междоузельных атомов кислорода и вакансий по нему. На месте вакансий кислорода образуются электронные ловушки, так называемые  $E_1$ -центры.  $E_1$ -центры могут находиться в трёх состояниях – немагнитном  $E_1$ , парамагнитном  $E_1'$ , диамагнитном  $E_1''$ . Соответственно они будут содержать ноль, один, два электрона в локализованном состоянии. Центры свечения для ТЛ процесса при 600-700 К представляют собой  $E_1''$ -центры, находящиеся в диамагнитном состоянии, на которых изначально локализовано два электрона. Эти центры эффективно образуются в объеме кристалла под действием гамма-облучения. По нашим данным, полученным с помощью ТЛ метода, энергия термоактивации первого электрона  $E_1''$ -центра в кварце составляет около  $1,6 \pm 0,8$  эВ. При термоактивации диамагнитного электрона происходит преобразование  $E_1''$ -центра в  $E_1'$ -центр. Тогда как под действием альфа- и бета- облучений образуются парамагнитные  $E_1'$ -центры, не являющиеся центрами свечения для ТЛ процесса при температурах 600-700 К, потому что содержат в локализованном состоянии только один электрон с энергией термоактивации более 2 эВ.

Накопление собственных радиационных дефектов в кварце является процессом, протекающим независимо от концентрации примесей и других дефектов, что приводит к стабильному ТЛ пику у природного кварца [Перевалов и др. 2009]. Есть данные, что в природном кварце концентрация  $E_1''$ -центров, связанных с вакансией кислорода, составляет около 1 ppm [Раков, 2007].

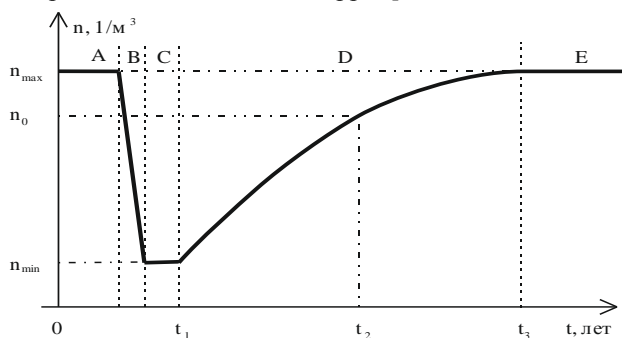


Рис. 1. Процесс накопления центров свечения песчинками кварца в природных условиях

На графике всего процесса видно, что вначале (область А на рис. 1) кварц несет некоторую прогенетическую память – дозу облучения, полученную им прежде и обуславливающую определенную концентрацию на ловушках электронов  $n_{max}$ . Перед новым захоронением осадки подвергаются отбеливанию (область В на рис. 1) – тогда произойдет опустошение ловушек до остаточной концентрации  $n_{min}$  (область С на рис. 1). Это нуль-момент, который нужно учитывать в расчётах – так как под солнцем экспозиция кварца не приводит к полному опустошению ловушек, этот параметр выявляется экспериментально. Отсчёт датируемого времени начинается с новым захоронением песчинок, когда (область D на рис. 1) идет накопление центров свечения, которые сохраняются в виде локализованных электронов с некоторой концентрацией  $n_0$  у тестируемого образца.

Несмотря на высокую величину термоактивационного барьера 1,6 эВ, экспериментально определено, что для древних образцов кварца концентрация центров свечения достигает  $n_{max}$  у насыщенного образца за интервал уже несколько сотен тысяч лет ( $t_3 - t_1 \sim 10^5$  лет) (рис. 1, область E). Хотя время метастабильной устойчивости  $E_1''$ -центров к термоактивации должно составлять более  $10^8$  лет:

$$t_3 - t_1 = \tau \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), (1)$$

где  $\tau = 10^{-12}$  с – характерный период колебания узла кристаллической решётки кварца,  $E_a = 1,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж – энергия термоактивации электрона,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана,  $T = 273$  К – средняя температура исследуемой горной породы.

Область насыщения E на рис.1 можно объяснить процессом нетермоактивационного типа, приводящего к аннигиляции  $E_1''$ -центра свечения. Предположительно происходит преобразование  $E_1''$ -центра в  $E_1'$ -центр с выходом диамагнитного электрона. Доказательством существования такого процесса являются исследования концентрации  $E_1''$ - и  $E_1'$ -центров в образцах кварца возрастом от  $10^5$  лет. По данным, приведённым в работе [Раков 2007] концентрация  $E_1''$ -центров в древних образцах кварца постоянна и составляет около 1 ppm, а концентрация  $E_1'$ -центров увеличивается в среднем 1 ppm за каждый последующий 1 млн. лет в интервале исследования от 1 до 60 млн. лет. Природа этого перехода до конца не ясна, одно из возможных объяснений этому могут являться диффузионные процессы, приводящие к релаксации дефектов данного типа. В любом случае, делаем вывод, что в природных кварцах происходит преобразование  $E_1''$ -центров в  $E_1'$ -центры с некоторой постоянной скоростью и этот же процесс определяет насыщение  $t_3 - t_1 \sim 10^5$  лет (рис. 1, область E).

Смоделируем процесс накопления локализованных электронов в природных условиях, показанный на рис. 1 областями D и E следующим образом. Допустим, что гамма-излучение в течение всего периода датирования образует в песчинках кварца с постоянной скоростью  $V_\gamma$  радиационные дефекты способные люминесцировать при нагревании:

$$V_\gamma = \beta \cdot E, (2)$$

где  $\beta$  – дозная чувствительность минерала, показывающая количество образующихся центров свечения от каждой гамма-частицы в единице объема кварца,  $E$  – величина, измеряемая в точке отбора горной породы, является

мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения, представляет собой количество гамма частиц проходящее через единицу объема кварца в единицу времени.

Область насыщения  $E$  на рис. 1, как описано выше, определяется процессом релаксации данного типа дефектов с аннигиляцией диамагнитного электрона. Предположим, что скорость аннигиляции пропорциональна их концентрации  $n$  в данный момент времени:

$$V_A = k \cdot n, (3)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, который представляет собой константу скорости аннигиляции локализованных электронов.

При насыщении скорость образования радиационных дефектов будет равна скорости их аннигиляции. В связи с этим, учитывая равенства (2) и (3), можно выразить константу скорости аннигиляции через концентрацию  $N$  локализованных электронов как:

$$k = \frac{\beta \cdot E}{N}, (4)$$

Скорость изменения концентрации локализованных электронов в кварце  $\frac{dn}{dt}$  будет равна скорости образования (2) радиационных дефектов в объёме минус скорость аннигиляции их за счёт процесса диффузии (3) на поверхность кварцевых песчинок; с учетом (4) можно записать выражение:

$$\frac{dn}{dt} = V_Y - V_A = \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n, (5)$$

После разделения переменных и интегрирования запишем уравнение для определения возраста горной породы  $t$  через концентрацию центров свечения  $n_0$ :

$$t(n_0) = \int_{n_{\min}}^{n_0} \frac{1}{\beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n'} \cdot dn' = \frac{N}{\beta \cdot E} \cdot \left[ \ln \left( \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n_{\min} \right) - \ln \left( \beta \cdot E - \frac{\beta \cdot E}{N} \cdot n_0 \right) \right] = \frac{N}{\beta \cdot E} \cdot \ln \frac{1 - \frac{n_{\min}}{N}}{1 - \frac{n_0}{N}}, (6)$$

Таким образом, с помощью уравнения (6) мы можем определить абсолютный возраст, измерив остаточную после отбеливания  $n_{\min}$  накопленную  $n_0$  и насыщенную концентрацию  $N$  центров свечения, а также мощность экспозиционной дозы гамма-излучения  $E$  в точке отбора горной породы и дозную чувствительность минерала  $\beta$ .

### Кинетика ТЛ процесса у кварца

Следующая задача, заключается в определении начальной концентрации центров свечения по параметрам ТЛ выплеска. Напомним, что традиционный подход, заключающийся в интегральном измерении ТЛ выплеска, имеет существенные недостатки. Поэтому принципиальное решение – отойти от абсолютных оптических измерений и перейти к измерению температур максимумов дозиметрического пика кварца, как критерия возраста горной породы, в которой он находился, позволяет минимизировать погрешности измерения и существенно упростить процедуру датирования [Писарев Шейнкман 2013].

Сдвиг главного ТЛ пика у кварца в область высоких температур для меньшей начальной концентрации центров свечения объясняется длительным послесвечением, что обусловлено квантово-механическим запретом на прямые

переходы между энергетическими уровнями и, как следствие, большим (несколько секунд для кварца при ТЛ процессе в области 600-700 К) временем жизни электронов в возбужденном состоянии. Послесвечение характерно для фосфоресцирующих веществ – к ним относится кварц, что подтверждено нашими многочисленными экспериментами, поскольку в них доминирующий ТЛ пик сдвигается, в зависимости от начальной концентрации локализованных электронов, в сторону высоких температур на интервал до 80 К (рис.2).

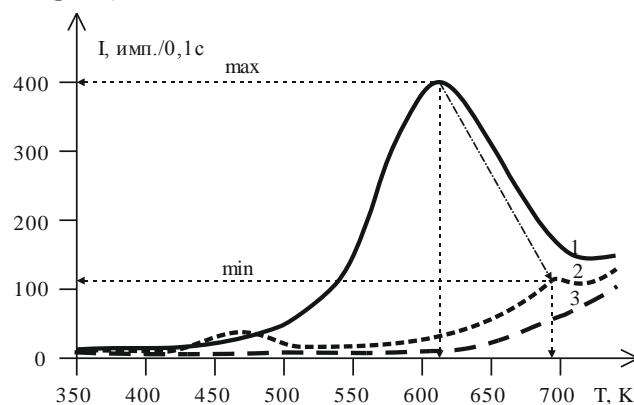
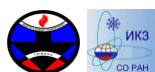


Рис.2. Экспериментальные ТЛ кривые, полученные при работе с образцами кварца – пояснения в тексте

В природном кварце для доминирующего пика ТЛ переход электронов между энергетическими уровнями происходит через зону проводимости. На рис. 2 показаны данные повторных экспериментов (на новом разработанном приборе – ТЛ-считывателе), полученные по образцам кварцевого песка из меловых отложений Мертвого моря, который максимально насыщен центрами свечения. ТЛ пик на кривой 1 на рис.2, полученный нагреванием насыщенного кварца, наблюдался при температуре около 610 К. ТЛ пик кварца, подвергнутого ультрафиолетовому облучению, показывает кривая 2 на рис. 2 – как видим, такое облучение приводит к опустошению не всех ловушек. Некоторая концентрация захваченных электронов на них остаётся, и она дает на кривой термовысвечивания свой невысокий пик при температуре около 680 К. По амплитуде он примерно в 20 раз меньше доминирующего ТЛ пика, причем сдвигается примерно на 80 К в область высоких температур. Полностью освобождает ловушки только высокотемпературный отжиг образца, что показывает отсутствие выраженного пика при повторном нагревании образца после его охлаждения – кривая 3 на рис.2. Поднятие этой кривой в высокотемпературной области связано с появлением, при температуре выше 800 К, теплового свечения подложки нагревателя.

Обозначим начальную концентрацию центров свечения образца  $n_0$ , и рассмотрим кривые в двух крайних случаях: с начальной концентрацией центров свечения для отбеленного кварца  $n_0 = n_{\min}$  и  $n_0 = n_{\max}$  – насыщенного кварца. В образцах кварца, предназначенных для определения возраста, начальная концентрация центров свечения  $n_0$  должна находиться в диапазоне  $n_{\min} < n_0 < n_{\max}$ .

Для математического моделирования ТЛ при разных начальных концентрациях центров свечения  $n_0$ , была выбрана модель кинетики общего порядка, предложенная в [May Partridge 1964]. Она точнее всего подходит для





моделей с одним уровнем ловушек и одним уровнем рекомбинации – так называемых базовых физических моделей ТЛ процессов OTOR (one trap – one recombination center), и описывает сдвиг ТЛ пика в область высоких температур для меньших начальных концентраций центров свечения  $n_0$ , следующим образом:

$$I_{TL} = -\frac{dn}{dt} = n^b \cdot \frac{s}{N^{b-1}} \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right), \quad (7)$$

где  $n$  – концентрация центров свечения в данный момент времени;  $I_{TL}$  – интенсивность термолюминесценции, величина пропорциональная количеству квантов света, фиксируемых ФЭУ в единицу времени;  $N$  – концентрация центров свечения в насыщенном кварце, предельная величина;  $E_a$  – энергия термоактивации;  $s$  – частотный фактор, частота тепловых колебаний молекул кварца;  $b$  – порядок кинетики процесса термовысвечивания;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура образца в Кельвинах. При использовании линейного по времени нагрева с постоянной скоростью  $q = \frac{dT}{dt}$  уравнение (7) после интегрирования с последующим дифференцированием по времени и после несложных преобразований можно записать как функцию интенсивности ТЛ от температуры, которая зависит еще от начальной концентрации центров свечения  $n_0$ :

$$I_{TL}(T) = s'' \cdot n_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \cdot \left[1 + (b-1) \cdot \frac{s''}{q} \int_{T_0}^T \exp\left(-\frac{E_a}{kT'}\right) dT'\right]^{-\frac{b}{b-1}}, \quad (8)$$

где  $s'' = s \cdot \frac{n_0^{b-1}}{N^{b-1}}$ ;  $T_0$  – начальная температура нагревания образца кварца.

Поскольку для определения начальной концентрации центров захвата используем температуру максимума ТЛ интенсивности, то выполним процедуру нахождения экстремума – продифференцируем формулу (8) по температуре и приравняем производную к нулю. Из полученного уравнения выразим начальную концентрацию центров свечения  $n_0$ . После преобразований выражение для начальной концентрации локализованных электронов  $n_0$  принимает вид:

$$n_0(T_{max}) = N \cdot \left[ \frac{q}{\frac{s \cdot b \cdot k T_{max}^2}{E_a} \exp\left(-\frac{E_a}{k T_{max}}\right) - s \cdot (b-1) \cdot \int_{T_0}^{T_{max}} \exp\left(-\frac{E_a}{k T'}\right) dT'} \right]^{\frac{1}{b-1}} \quad (9)$$

Формула (9) позволяет определять начальную концентрацию локализованных электронов по температуре ТЛ максимума.

Т.о., формулы (6) и (9) определяют новую технологию определения возраста горной породы. Из уравнений для удобства можно исключить параметр  $N$  концентрацию центров свечения в насыщении, если ввести нормализованную плотность накопленных  $U_0 = \frac{n_0(T_{max})}{N}$  и оставшихся после отбеливания  $U_{min} = \frac{n_{min}}{N}$  центров свечения.

## Заключение

Новый подход к ТЛ датированию подразумевает следующие технологические этапы. Для определения возраста выполняют отбор образцов горной породы из мест, где минерал-таймер сохранился при постоянной мощности экспозиционной дозы естественной гамма-активности и в последний раз подвергался облучению солнечным светом в момент начала отсчета интервала датирования. В точке отбора требуется произвести измерения мощности гамма-активности с помощью натрий-йодистого сцинтилляционного радиометра. Далее проводится пробоподготовка для экстрагирования из горной породы навески кварца с выделением фракции 0,1-0,2 мм, включая ситование в воде и кислотную обработку. На следующем этапе выполняются измерения температуры максимума свечения образцов кварца, для чего с помощью прибора ТЛ-считывателя при постоянном нагревании регистрируется кривая ТЛ высвечивания. Полученная температура максимума вводится в компьютерную программу определения абсолютного возраста, которая выполнит расчёт формул (6) и (9). Новая технология включает математическую модель используемого ТЛ процесса, компьютерную программу для расчетов определений возраста изучаемых пород и прибор – считыватель ТЛ сигнала.

## Литература

- Перевалов А.В., Шейнкман В.С., Лютоев В.П., Цыденов А.Б. 2009. Дозиметрические свойства природного кварца и возможности его использования для определения возраста четвертичных отложений // Материалы Третьей международной конференции. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. – Томск, 440-443 с.
- Писарев А.Д., Шейнкман В.С. 2013. Развитие термолюминесцентного метода определения абсолютного возраста четвертичных отложений по содержащемуся в них кварцу // Материалы Четвертой Международной конференции. Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. – Томск, 404-407 с.
- Раков Л.Т. 2007. Научные основы применения структурных дефектов в кварце в качестве индикатора минералообразования. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. ФГУП “Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья” им. М.Н. Федоровского – Москва, 329 с.
- Шейнкман В.С. Методы и технологии абсолютного датирования четвертичных образований. – Новосибирск: Гео. 2013, 84 с.
- Шейнкман В.С., Мельников В.П. 2011. Новый подход к датированию мерзлых толщ: использование технологии термостимулированной люминесценции последнего поколения // Криосфера Земли, Том XV, № 4, 114-119 с.
- May C. E. & Partridge J. A. J. 1964. Thermoluminescent Kinetics of Alpha-Irradiated Alkali Halides // The Journal of Chemical Physics, 40, pp.1401-1409.

## Особенности распределения и деградации органического вещества прибрежно-шельфовой зоны залива Буор-Хая (море Лаптевых)

Т.В.Погодаева, Т.В.Ходжер, Н.А.Жученко

*Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия*

М.Н.Григорьев

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия*

### Реферат

Исследовано органическое вещество прибрежно-шельфовой зоны моря Лаптевых: выявлено его детальное распределение в береговых, прибрежных, поверхностных донных и донных отложениях; проанализирован состав, генезис, определены условия формирования и деградации органического вещества. Выявляется четкая зависимость содержания органического вещества и его качества от размерности фракций отложений, а у береговых, прибрежных и поверхностных донных отложений также от рельефа местности. Выделилось две группы органического вещества: 1 – связанное с глинами, с более легкими изотопами углерода; и 2 – связанное с песками, с более тяжелыми изотопами углерода. Отдельную группу составляет неразложившийся древесный детрит. По сочетанию показателей: содержание органического углерода, азота, их соотношение, изотопия, определено органическое вещество с различной степенью деградации. Более высокая деградация органического вещества была отмечена в протаявших над кровлей подводной мерзлоты горизонтах.

**Ключевые слова:** Арктика; донные отложения; изотопы азота; изотопы углерода; море Лаптевых; органический азот; органический углерод.

## Features of Distribution and Degradation of Organic Matter in the Coastal-Shelf Area of Buor-Haya Gulf (Laptev Sea)

T.V.Pogodaeva, T.V.Khodzher, N.A.Zhuchenko

*Limnological Institute, SB RAS, Irkutsk, Russia*

M.N.Grigoriev

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*

### Abstract

Organic matters of coastal-shelf zone of the Laptev Sea (Buor-Haya Gulf) were studied. Detailed distribution of organic matter in coastal, surface and bottom sediments were revealed. The structure, genesis, the conditions of formation and degradation of organic matter were determined. A clear dependence of the content of organic matter and its quality on the dimension fractions deposits was revealed. Two groups of organic matter were distinguished: 1 - associated with clays, with the lighter isotopes of carbon; and 2 - associated with sand, with heavier isotopes of carbon. Undegraded woody detritus was a separate group. By a combination of factors: the content of organic carbon, nitrogen, and their ratio, isotopy were defined organic matter with varying degrees of degradation. Higher organic matter degradation was observed in thawed horizons above the roof of underwater permafrost.

**Key Words:** Arctic, bottom sediments, carbon isotopes, Laptev Sea, nitrogen, organic carbon.

### Введение

К данным о поступлении и распределении в арктическом бассейне органического углерода в последние годы проявляется большой интерес [Романкевич Ветров 2001, Frey McClelland 2009, Gustafsson et al. 2011, Achberger et al. 2013]. Доминирующими источниками терригенного выноса органического углерода в арктические моря являются речной твердый сток и поток наносов из берегов [Are 1999, Grigoriev et al. 2001, 2003, 2004]. Береговые толщи на побережье арктических морей большей частью сложены ледовыми комплексами и отложениями термокарстовых депрессий (аласов) [Grigoriev et al. 2001, 2003, 2004]. В силу значительной оторфованности, наличие многочисленных органических остатков, они

характеризуется большим содержанием органического углерода. Вследствие активного разрушения берегов и, в особенности, ледового комплекса, на значительной части прилегающего шельфа формируются суспензионные потоки. В более глубокие части моря вынос наносов (и органического углерода) осуществляется придонными течениями и идет в виде перемещения взвесей и влекомого донного материала, согласуясь с батиметрическими параметрами и рельефом дна [Рекант и др. 2001]. Для более детального изучения этих процессов хорошо подходит залив Буор-Хая, расположенный на юго-востоке моря Лаптевых. За счет твердого стока крупной сибирской реки Лены здесь формируется подводное продолжение ее дельты. Также это район активной термоабразии. До 30% береговой линии залива Буор-Хая – это крутые (до 30 м), склоны,



сложенные породами ледового комплекса, который быстро разрушается под воздействием термоабразии, ускоряющейся, в связи с потеплением климата, ветровой и волновой эрозией, которая тем больше, чем больше свободный ото льда сезон. Поступающий в залив терригенный материал содержит большое количество органического вещества. Задача исследования - выявить особенности его распределения в береговой зоне и закономерности его распространения и осаднения на прибрежном шельфе.

## Материалы и методы

Полевые работы на побережье и шельфе залива Буор-Хая моря Лаптевых (рис.1) были проведены Институтом мерзлотоведения СО РАН в 2010-2013 гг. Буровые экспедиции по изучению донных осадков в центральной части губы Буор-Хая проведены совместно с коллегами из Тихоокеанского океанологического института.



Рис. 1. Карта-схема отбора проб. Залив Буор-Хая моря Лаптевых

Пробы береговых, прибрежных, поверхностных донных и донных отложений были отобраны на различные виды анализов, включая определение содержания органического углерода, азота, отношения C/N, изотопные отношения.

Содержание органического углерода (Corg) и азота (Norg) в пробах определяли в аккредитованной (№ РОСС RU. 0001.513855) лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН методом каталитического высокотемпературного окисления образцов при 950°C с последующим определением CO<sub>2</sub> с помощью ИК детектора на высокотемпературном анализаторе углерода Vario TOC cube. Все образцы обработаны 10%-ым раствором соляной кислоты (осч, деионизованная вода, ТОС < 1 ppb) для удаления карбонатов, высушены при 80°C до постоянной массы (ГОСТ 23740-79). В качестве результата взяты средние значения трех измерений одного образца. Стандартное отклонение не превышает 0.01%.

Изотопные отношения определяли методом газовой изотопной масс-спектрометрии, стандартное отклонение при съёмке вещества стандарта (лимонная кислота,

Aldrich) не превышает 0.12 %. В качестве результата взяты средние значения двух измерений одного образца.

## Результаты и обсуждение

Береговая зона термоабразионных берегов западного побережья п-ова Буор-Хая сложена преимущественно плейстоценовыми породами ледового комплекса, представляющими собой суглинки с высоким содержанием органического материала – остатков растительности и торфяных включений. Объемная льдистость пород при этом составляла свыше 50%. Отложения уреза моря и первых 2 метров по глубине воды были представлены средне- и мелкозернистым песком. Поверхностные донные отложения при глубине моря свыше 2 метров представляли собой супесь. Проба в реке Орто-Стан представлена супесью, в устье – песком.

Содержание органического углерода в отложениях ледового комплекса и в осадках аласных депрессий, вскрытых в береговых обрывах и опробованных серий профилей, составило от 0,82 до 5.8% в суглинках и до 48% в торфяных прослоях от массы вмещающих толщ. В то же время, на прибрежном мелководье, в песках, содержание органического углерода в поверхностных осадках крайне низкое – от 0,04 до 0,18%. По всем морским профилям, в супесях, сменяющих пески по мере увеличения глубины моря (до 7-10 м на расстоянии 5-12 км от берега) содержания Corg не велики – 0.14-0.63% с небольшим трендом увеличения содержания с глубиной моря. При этом во впадинах (понижении рельефа) содержание Corg могло достигать 5%. По всем профилям наблюдалась также приуроченность содержания Corg к мелким фракциям осадка.

В 50-метровой колонке донных отложений из скважины в 17,5 км на северо-восток от острова Муостах наибольшей насыщенностью органическим материалом отличалась верхняя пачка донных осадков, мощностью около 6 м, особенно значительно было содержание Corg (до 3%) в верхнем 33-сантиметровом слое ила (рис.2).

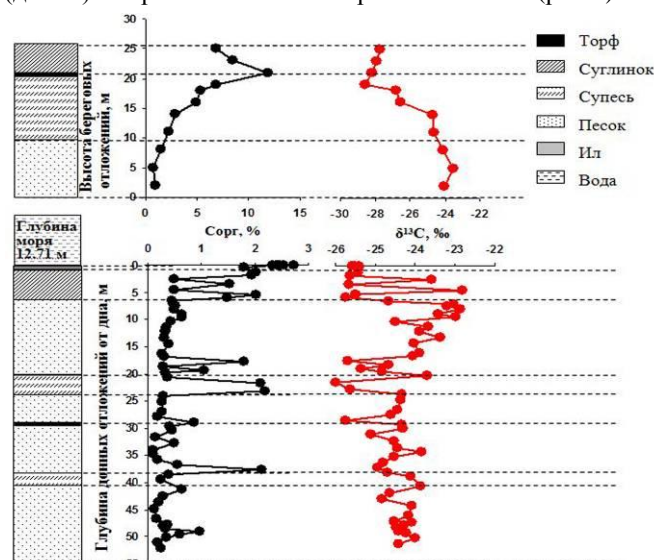


Рис. 1. Распределение Corg в береговом обнажении мыса Муостах и донных отложениях скважины, расположенной в 17.5 км на северо-восток от острова Муостах.

Осадок во всем керне этого диапазона имел алевроитово-глинистую структуру, темно-серый оттенок и характеризовался субгоризонтальной слоистостью. Ниже по разрезу, на горизонтах 18, 23 и 38 м, ниже дна моря, находились еще несколько пачек осадков существенно насыщенных органикой (до 2% Сорг). Минимальное количество органического вещества определено в песках 0.09-0.31%.

По данным изотопного состава органического углерода  $\delta^{13}\text{C}$  меняется от -26 ‰, преимущественно в слоях, насыщенных органикой, до -23 ‰. Осадки по всему разрезу характеризуются морским засолением и находятся в зоне отрицательных температур (-0,3- -1 °С).

Мыс Муостах, как и большая часть побережья изучаемого региона, сложен льдистыми породами ледового комплекса и тонкозернистыми аласными отложениями. Состав отложений меняется от песчаного уреза моря до оторфованного суглинка на высоте 25 м. Насыщенность органикой этих отложений оказалась очень высокой (рис. 2) – в среднем около 3% Сорг, до 12% - в верхней части разреза. При этом  $\delta^{13}\text{C}$  изменялось от -29 ‰ в оторфованной супеси до -23 ‰ в песках.

В отложениях берегового комплекса о-ва Муостах (рис. 3 А) наиболее высокое содержание Сорг определено на вершине уступа в торфе (84.4%) и оторфованных супесях (31.2%). В песках самого уступа и прибрежных песках содержание Сорг не высокое 0.76-1.73 %. Содержание Норг составляет 0.04% - 0.09% и зависит от доли примеси органического вещества, коррелируя с содержанием Сорг. Отношение C/N варьирует от 15 до 50. Минимальное отношение C/N определено в песках.

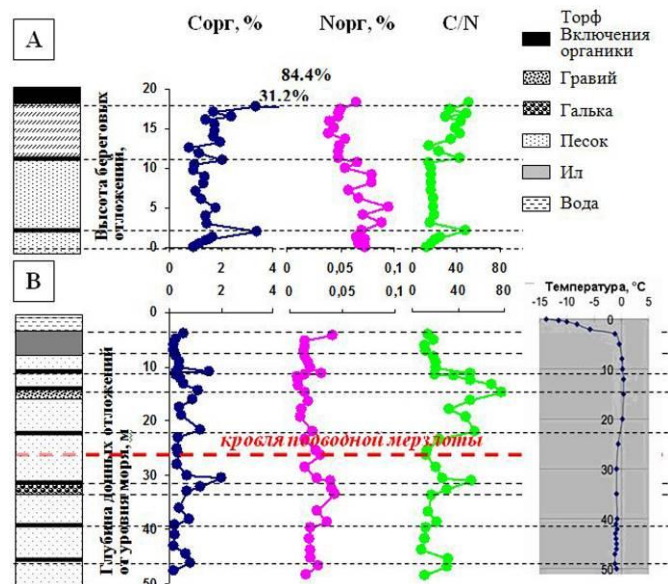


Рис. 3. Распределение органических компонент в береговых и донных отложениях залива Буор-Хая вблизи западного побережья губы Буор-Хая (скважина ВК-2).

В 50-метровой колонке донных отложений из скважины вблизи западного побережья губы Буор-Хая максимальные значения Сорг и Норг определяются в

прослоях, насыщенных органикой и древесным детритом: 0.7-2.0% и 0.02-0.04% (рис. 3 В). В песках концентрации составляют 0.16-0.40% и 0.007-0.015%, практически не меняясь с глубиной осадков. Отмечается высокое (как и у берегового материала) отношение C/N – 10-78. Максимальное отношение C/N определено в прослоях насыщенных органикой и детритом.

Исследование распределения содержания Сорг и Норг в толще осадков 30-ти и 20-ти метровых скважин по профилю от северного мыса о. Муостах к Быковскому полуострову (скважины II D-13 и IV D-13) показало высокие значения в верхних тонкодисперсных отложениях (до 8% Сорг и 0,13% Норг), снижающихся в последующих суглинках и минимальные значения в песках. Очень высокие значения (до 26% Сорг и 0,92% Норг) отмечались в прослоях с включениями органики (торфа, детрита). Отношение C/N, составляя в целом 15-25, в насыщенных органикой прослоях возрастало иногда до 70.

В пробах поверхностного грунта в проливе, западнее о. Муостах, содержание Сорг составило 0.49-0.63 %, Норг – 0.09% - 0.11%, отношение C/N варьировало от 4,8 до 6,3. В целом, содержание органических компонент обнаружило зависимость от рельефа дна пролива. Во впадине с глубиной моря 7м содержание Сорг составило 2,9%, а отношение C/N – 26.

В целом, береговые отложения залива Буор-Хая, (п-ва Буор-Хая, п-ва Быковский, о-ва Муостах), окаймляющие залив с разных сторон, сложенные породами ледового комплекса, обнаруживают общие закономерности распределения органического материала. Выявляется четкая зависимость содержания органического вещества и его качества от высоты и рельефа местности, а также от размерности фракций отложений (рис. 2, 3).

С уменьшением высоты береговых склонов снижается содержание органического углерода с последовательным утяжелением его изотопного состава (рис. 4а); соответственно изменяется содержание азота (рис. 4б) и очень важный показатель деградации органического вещества отношение C/N (рис. 4с). Совокупность изменения этих параметров, вероятнее всего, отражает происходящую активную микробную деградацию органического вещества, в том числе, и протаявшего ледового комплекса. Выделилось две группы органического вещества: 1 – более современное органическое вещество, с более легкими изотопами углерода, и связанное с глинами; и 2 – более древнее органическое вещество, с более тяжелыми изотопами углерода, связанное с песками (рис. 4).

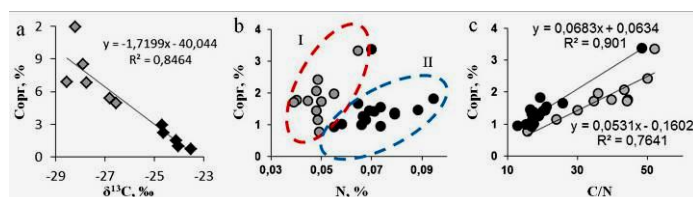


Рис. 4. Отношение содержания органического углерода в береговых отложениях залива Буор-Хая к  $\delta^{13}\text{C}$  (а), N (б), отношению C/N (с).



При этом больший угол наклона тренда деградации (рис. 4с) и, соответственно, более быстрая деградация органического вещества отмечается у органического вещества, связанного с песками.

Минимальное количество Сорг (0.05-0.09%) содержат наиболее подверженные волновой эрозии перемытые пески уреза воды (донных отложений) с четкой закономерностью увеличения содержания с увеличением глубины моря (7-10 м на расстоянии 5-12 км от берега), связанной с увеличением доли тонкодисперсного материала, оседающего на большем от берега расстоянии. При этом при понижении рельефа, во впадинах, наблюдается наиболее тонкодисперсный материал с содержанием Сорг до 5%. Сортировка поступающего в залив органического вещества начинается в мелководной части подводного берегового склона в результате активной переработки донных отложений, при этом легкие фракции свежего органического вещества (гуминовые соединения) движутся к поверхности водной толщи; фракции старого органического вещества, связанные с более тяжелыми минеральными частицами, оседают, и чем крупнее, тем ближе к берегу. Органика, связанная с тонкодисперсными глинистыми частицами, переносится мутьевыми потоками в более глубокую часть акватории к подножью авандельты. Имеющиеся аномалии концентраций Сорг на подводном склоне (до 4% Сорг) связаны с выносом больших объемов органики малыми реками, которые дренируют водосборные площади с широким распространением органосодержащих пород – плейстоценового ледового комплекса и голоценовых термокарстовых котловин.

Бурение глубоких 30-50 метровых скважин впервые позволило детально оценить распределение ОВ в донных отложениях залива. Выявилась четкая зависимость содержания ОВ от размерности фракций отложений. Накопление и смена осадков различного гранулометрического состава в свою очередь зависит от смены седиментологической обстановки, трансгрессий и регрессий моря. Однако на всем протяжении колонок отношения C/N, а также изотопный состав углерода указывают терригенный источник ОВ. При анализе органических компонент выявились две группы органического вещества (рис. 5):

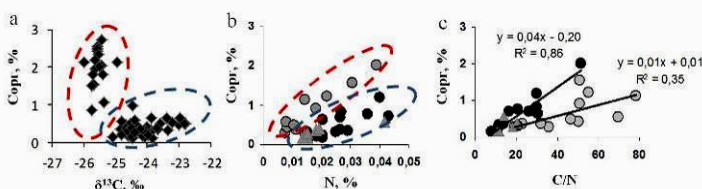


Рис. 5. Отношение содержания органического углерода в донных отложениях залива Буор-Хая к  $\delta^{13}\text{C}$  (a), N (b), отношению C/N (c).

1 – группа практически недеградированного захороненного органического вещества с более легкими изотопами углерода и 2 – деградированного (или с протекающей деградацией) органического вещества с

более тяжелыми изотопами углерода. Более высокая деградация органического вещества была отмечена в протаявших над кровлей подводной мерзлоты горизонтах.

## Заключение

Исследованиями установлено, что отложения берегового комплекса залива Буор-Хая моря Лаптевых содержат большое количество (до 80%) органического углерода. Поступая в воды залива при термоабразии побережья, органическое вещество в прибрежных поверхностных осадках не накапливается, а переносится мутьевыми потоками с более легкими фракциями осадка к центральной части залива (Сорг 2,7%) и далее к подножью авандельты. Распределение содержания Сорг в толще осадков глубоких скважин показало максимальные значения в верхних тонкодисперсных современных отложениях (2,7% Сорг), снижающихся в последующих суглинках и минимальные значения в песках. Непрерывность и тонкодисперсность значительного поверхностного слоя донных отложений, а также высокое содержание в нем Сорг, позволяет говорить об увеличении поступления органического вещества в осадки в современных условиях. Исследованиями установлено также установлено, что деградация органического вещества протаявших мерзлотных толщ возможна и происходит, что, при потеплении климата, может усилить в аэробных условиях эмиссию  $\text{CO}_2$  в атмосферу, в анаэробных – увеличить насыщение  $\text{CH}_4$  донных отложений.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН 23.6.

## Литература

- Рекант П.В. Эволюция природных обстановок Лаптевоморской континентальной окраины в позднем плейстоцене на основании анализа сейсмоакустических материалов // Сборник научных трудов "Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала". 2001. – Мурманск, 2001, 2: 91-99.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А. 2001. Цикл органического углерода в арктических морях России. – М., Наука, 2001. – 302 с.
- Are, F.E. The role of coastal retreat for sedimentation in the Laptev Sea. In: Land-ocean systems in the Siberian Arctic / Kassens et al. (eds). 1999. Springer, 1999, p. 287-295.
- Frey, K.E. & McClelland J.W. 2009. Impacts of permafrost degradation on arctic river biogeochemistry. *Hydrological Processes* 23:169-182.
- Gustafsson, O., van Dongen, B.E., Vonk, J.E., Dudarev, O.V., Semiletov I.P. 2011. Widespread release of old carbon across the Siberian Arctic echoed by its large rivers, *Biogeosciences* 8: 1737-1743.

## Реакция криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири на изменение климата

О.Е.Пономарева, А.Г.Гравис

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

Е.В.Устинова

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

Т.А.Бляхарчук

*ИМКЭС СО РАН, пр. Академический 10/3, Томск 634055;  
Томский государственный университет, пр. Ленина 36, Томск 634050*

Н.Г.Москаленко, Н.М.Бердников

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Анализ данных долговременного комплексного мониторинга криогенных ландшафтов показывает, что современное изменение климата вызвало существенные изменения растительного покрова, глубины оттаивания грунтов, температур многолетнемерзлых пород (ММП) и динамики криогенных процессов. Значительное повышение температуры ММП и увеличение глубины протаивания отмечены на торфяно-минеральных буграх пучения. Выявлены два периода, характеризующиеся значительной скоростью повышения температуры ММП на буграх пучения. Использование аппаратуры с непрерывной записью данных о температуре пород и организация новых температурных скважин (в 2009 – 2012 гг.) позволило выявить торфяники с различной реакцией на изменение климата. Реакция плоскобугристых торфяников и мелкобугристых тундровых участков на изменение климата не столь значительна. Установлено, что с 2005 г. интенсивность пучения снизилась, тепловой осадки - увеличилась. Зафиксировано влияние экстремальных климатических явлений на темпы изменения криогенных ландшафтов. Установлено, что в слабоустойчивых геосистемах, нарушенных в результате хозяйственной деятельности, происходит постепенное увеличение ширины зоны нарушения, обусловленное влиянием подтопления и развитием термокарста и заболачивания в зонах, прилегающих к линейным сооружениям.

**Ключевые слова:** глубина сезонного оттаивания, изменение климата, криогенные процессы, температура многолетнемерзлых пород, трансформация растительного покрова

## Reaction Cryogenic Northern Taiga Landscapes of Western Siberia to Climate Change

O.E.Ponomareva, A.G.Gravis

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

E.V.Ustinova

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

T.A.Blyakharchuk

*IMCES SB RAS, Academicheskii ave 10/3, Tomsk 634055  
Tomsk state university, Lenina 36, Tomsk 634050*

N.G.Moskalenko, N.M.Berdnikov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

### Abstract

Data analysis of long-term monitoring of complex cryogenic landscapes shows that contemporary climate change has caused significant changes of vegetation, thaw depth, the temperature of the permafrost and the dynamics of cryogenic processes. The most significant rise in permafrost temperature and an increase of depth thawing were marked on the peat-mineral frost mounds. Two periods characterized by significant increase in permafrost temperature rise have been identified at frost mounds. Using of equipment with continuous recording of temperature data and the organization of new temperature wells (in 2009 – 2012 yrs.) revealed frost mounds with different responses to climatic change. It was revealed that reaction of flat peatlands to climatic change is not significant. It was found that since 2005 the frost heave intensity decreased, heat surface subsidence - increased. It was detected the influence of extreme climatic events on the rate of cryogenic landscape change. It was found that in unstable ecosystems influenced by of human economic activity, there is a gradual increase in the width of the zone violation, due to waterlogging, mire formation and thermokarst development in areas adjacent to the linear structures.

**Key Words:** climate change, cryogenic processes, depth of seasonally-thawed layer, permafrost temperature, vegetation cover transformation



## Введение

Естественные и нарушенные хозяйственной деятельностью криогенные ландшафты изучаются на Надымском стационаре с 70-х гг. XX века.

Стационар расположен в пределах северной тайги Западной Сибири на III озерно-аллювиальной равнине в бассейне реки Надым (рис.1). На плоской центральной поверхности равнины около 70% территории занимают торфяники, преимущественно плоско- и крупнобугристые, а также единичные бугры и площади пучения [Мельников и др. 1983]. К торфяникам приурочены острова высокотемпературных многолетнемерзлых пород.

Выполненные исследования показывают, что в естественных условиях в течение всех лет наблюдений происходила постепенная направленная трансформация растительного покрова, обусловленная изменением климата. Результаты мониторинга растительного покрова изложены в монографии [Комплексный 2012]. Необходимо отметить, что трансформация растительного покрова происходит в направлении, способствующем дестабилизации температурного режима ММП. Так, появление деревьев на ранее безлесных торфяниках и увеличение высоты, встречаемости (карликовой березки в 2 раза) и площади покрытия поверхности кустарниками способствует снегозадержанию при прививании снега.

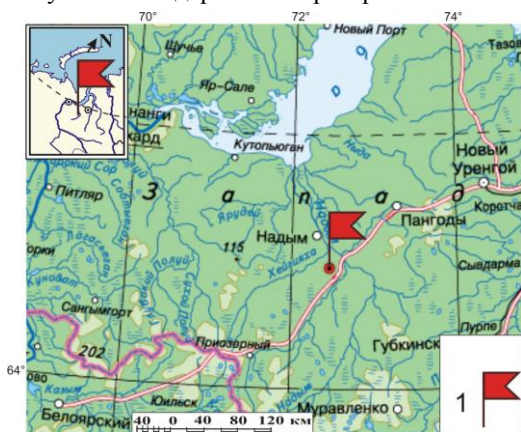


Рис.1. Надымский стационар – 1.

Уменьшение встречаемости *Cladina stellaris*, под влиянием повышения количества атмосферных осадков, приводит к уменьшению альбедо поверхности.

Исследования последних пяти лет позволили получить новые данные о реакции ММП на кратковременные колебания метеорологических параметров, уточнить представления о темпах повышения температуры ММП, глубине оттаивания грунтов, направленности криогенных процессов.

## Методика исследований

Полевые исследования проводятся на стационарных профилях и площадках, выполняются в августе – начале сентября, в период близкий к окончанию срока протаивания грунтов. Методика изучения рного режима

ММП приведена в работе [Гравис Пономарева 2015]. Для изучения пучения производится нивелировка поверхности стационарных профилей от глубинного репера. Для оценки темпов изменения климата использовались данные метеостанции Надым, расположенной в 30 километрах к северу от стационара.

На участках, нарушенных в результате хозяйственной деятельности выполнено повторное крупномасштабное картографирование с целью выявления слабоустойчивых геосистем и оценки изменений ширины зоны нарушения. Составлена характеристика техногенных нарушений в различных фациях стационара.

## Результаты исследований

### Анализ метеорологических данных

Анализ трендов изменения среднегодовой температуры воздуха показывает, что происходит направленное повышение этого параметра. Установлено, что с 1970 г. по 1975 г. и с 2003 по 2014 г. скорость повышения температуры воздуха составляла 0,09°C в год, в период с 1976 по 2002 – 0,04°C в год.

Количество выпадающих атмосферных осадков характеризуется значительной (до 40% относительно среднемноголетних значений) межгодовой изменчивостью. С 2001 до 2011 г. зафиксировано значительное (на 75 мм) увеличение годовой суммы осадков, преимущественно за счет летней составляющей.

### Результаты мониторинга глубины оттаивания грунтов СТС

Мониторинг глубины оттаивания грунтов показал, что имеет место значительная межгодовая изменчивость этого параметра, составляющая от 14 - 18% от средних значений на плоскобугристых торфяниках и до 30 – 34% на торфяных болотах и минеральных буграх [Комплексный, 2012]. Анализ трендов изменения глубины оттаивания с 1971 г. по 2014 г. позволил выявить направленное увеличение этого параметра на крупно- и мелкобугристых торфяниках, торфяно-минеральных и минеральных буграх пучения, составляющее в среднем 1,3 - 1,7 см в год, причем в последние 5 лет наблюдались максимальные темпы увеличения глубин оттаивания грунтов.

До 2013 года не отмечалось значительного направленного изменения глубины оттаивания только на плоскобугристых торфяниках. В 2014 г. обозначилась разница в динамике глубины протаивания на плоскобугристых торфяниках с различной степенью дренированности. На относительно хорошо дренированных плоскобугристых торфяниках (площадка CALM I, профили V-V, II-II) с многочисленными осушенными мочажинами, лишенными растительного покрова, произошло резкое увеличение глубины протаивания грунтов в точках, где мощность СТС в предыдущие годы превышала 1,5 м (рис. 2). На слабо дренированном плоскобугристом торфянике (CALM II) глубины протаивания грунтов в 2013 и 2014 гг. практически не изменилась (рис.3).

Резкое увеличение глубины протаивания, зафиксированное в августе 2014 г. мы связываем с тем, что в начальный период промерзания (с октября до декабря 2013 г.) осадков в виде снега выпало в 2 раза больше среднего значения, а в июле 2014 г. выпало дождей в 2 раза больше среднего значения, что обеспечило поступление дополнительного тепла в грунт.

Таким образом, выполненные исследования свидетельствуют о значительном влиянии межгодовых колебаний климатических параметров на глубину оттаивания грунтов и о наличии направленного тренда к увеличению глубины оттаивания. Можно предположить, что тенденция к увеличению глубины оттаивания в ближайшие годы сохранится, так как температура воздуха продолжает повышаться и по прогнозу количество летних осадков будет возрастать [Второй оценочный... 2014].

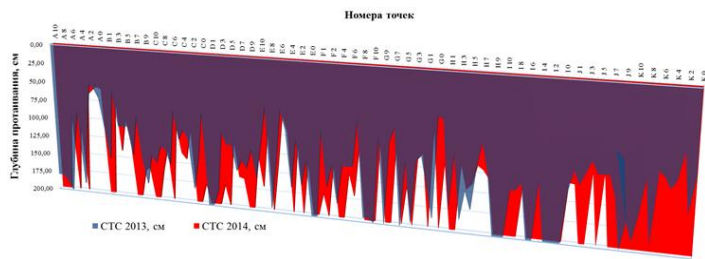


Рис. 2. Глубина оттаивания грунтов на площадке CALM I в 2013 и 2014 гг.

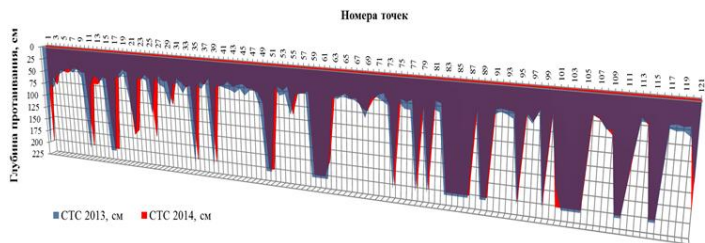


Рис. 3. Глубина оттаивания грунтов на площадке CALM II в 2013 и 2014 гг.

Нарушение условий теплообмена мохово-торфяного покрова на поверхности, неизбежно возникающее при всех видах внешнего воздействия, приводит к изменениям глубины сезонного протаивания в 2-4 раза. Интенсивность техногенных нарушений теплового равновесия почв и горных пород в количественном отношении на несколько порядков больше по сравнению с теми, которые вызваны колебаниями климата.

**Результаты изучения температурного режима ММП на стационаре**

Данные многолетних (с 70-х гг. XX века) ежегодных разовых замеров температуры ММП позволяют судить об изменении температуры на подошве слоя годовых колебаний температуры. Глубина залегания подошвы этого слоя - 10 м была определена на начальном этапе исследований в ходе геокриологической съемки. По данным термометрии было установлено, что происходит направленное повышение температуры ММП. Минимальный тренд повышения температуры характерен для плоскобугристых торфяников (менее 0,01°C в год) [Гравис Пономарева 2015]. Максимальный

тренд повышения температуры ММП 0,02-0,07°C в год зафиксирован на крупнобугристых торфяниках и буграх пучения. Повышение температуры ММП на крупнобугристых торфяниках и буграх пучения происходило нелинейно. Наиболее интенсивно температуры повышалась в течение 2 периодов (1975 - 1984 г.; 2009-2014 гг.), а с 1985 по 2008 повышение температур было незначительным (рис.4).

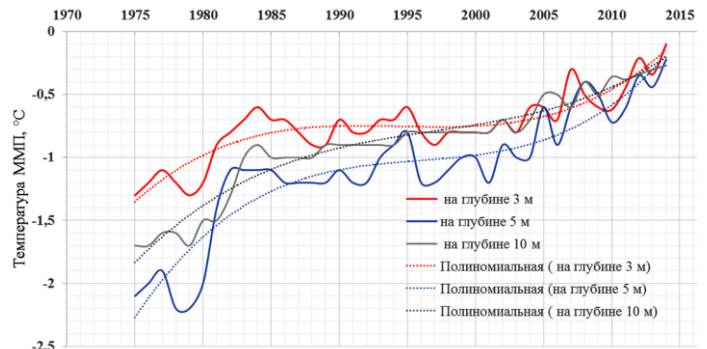


Рис. 4. Температура ММП по данным измерения в скв. 11 – 75 (крупнобугристый торфяник).

Благодаря использованию измерительной аппаратуры с круглогодичной регистрацией температуры и оборудованию 6 новых температурных скважин был получен новый объем данных, позволяющий более детально судить о температурном режиме ММП на глубинах 3, 5 и 10 м за период с 2009 – 2014 гг. и выявить торфяники с различной скоростью повышения температур ММП.

Анализ трендов изменения температуры по новому массиву данных на глубинах 3 и 5 м показал, что происходит направленное повышение температуры ММП на этих глубинах. По величинам тренда все изучаемые бугры пучения и крупнобугристые торфяники можно разделить на 3 группы.

К первой группе отнесены гряды и бугры пучения (далее бугры пучения), для которых характерен быстрый рост температуры ММП. Величины трендов составляют на глубине 3 м 0,1-0,3°C в год, на глубине 5 м 0,07–0,2°C в год (рис. 5). Три (из четырех) объекта включенных в эту группу расположены у границы с поймой реки, близ озера или находятся в заболоченной ложбине стока.

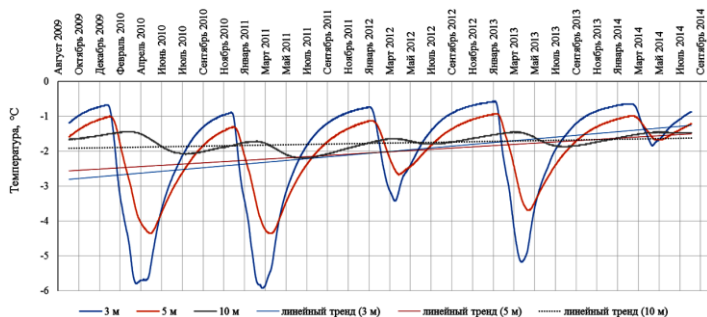


Рис. 5. Температура ММП по данным измерения в скв. 1 – 09 (бугор пучения)

Во вторую группу объединены бугры пучения, в которых повышение температуры ММП происходит медленнее: со скоростью 0,1...0,2°C/год на глубине 3 м и



0,03...0,04°C/год на глубине 5 м. Это два бугра пучения, находящиеся на удалении от водоемов и водотоков.

К третьей группе отнесен бугор пучения, температуры ММП которого на глубине 3 и 5 м повышаются незначительно – на 0,02°C в год.

В настоящее время температура ММП на глубине 10 м большинства крупнобугристых торфяников и бугров пучения составляет от -0,1 до -0,5°C. Исключение представляет один бугор пучения, ММП которого на глубине 10 м характеризуется температурой -1,47°C. По темпам изменения температур на глубинах 3 и 5 м на вершине бугра он отнесен к первой группе. Однако, температура на склоне этого бугра характеризуется низкими темпами повышения – 0,03 и 0,01°C в год.

Анализ круглогодичных температурных замеров позволил установить, что после холодных зим (2010 и 2011 гг.), происходит проникновение «волн холода» в породы на глубины 3, 5 и 10 м, что существенно замедляет темпы повышения температуры ММП в слое годовых колебаний температуры и свидетельствует о том, что мощность данного слоя в настоящее время превышает 10 м.

#### **Результаты изучения динамики криогенных процессов**

Криогенное пучение, считалось ранее ведущим криогенным процессом [Мельников и др. 1983] на изучаемой территории. Мониторинг поверхности крупнобугристых торфяников и бугров пучения показал, что до 2000 г. происходил подъем поверхности торфяников вследствие пучения. После относительно теплых зим поверхность оставалась стабильной или чуть оседала. Результирующий эффект подъемов и оседаний поверхности был разным на вершинной поверхности и склонах бугров. Вершинная поверхность бугров, в целом поднималась, склоны пульсировали. В XXI веке, увеличение глубины оттаивания, повышение температуры воздуха и ММП привели к изменению тенденций криогенных процессов. Преобладающим стало оседание поверхности практически во всех наблюдательных точках, что является свидетельством снижения интенсивности криогенного пучения, и доминирующей роли тепловой осадки.

В естественных условиях активизации термокарста не обнаружено. Но в 2014 г. отмечено появление новых трещин на поверхности бугров пучения и бортах старых термокарстовых котловин, развитие которых пока сдерживает растительность.

В нарушенных условиях (снятие растительного покрова и нарушение гидрологического режима) происходит образование термокарстовых озер, площадь которых постепенно увеличивается.

#### **Обсуждение результатов**

Полученные в результате мониторинга данные свидетельствуют о направленном изменении геосистем под влиянием изменения климата. Общая тенденция такова: изменение растительного покрова, увеличение глубины оттаивания грунтов и повышение температуры ММП, приводящее к тепловой осадке. Ввиду того, что

температура воздуха продолжает подниматься, а количество осадков увеличивается следует ожидать, что общая тенденция трансформации криогенных геосистем сохранится, а темпы изменений увеличатся, учитывая, что в последние 5 лет они возросли. В настоящее время состояние криогенных геосистем можно охарактеризовать как неустойчиво равновесное, учитывая общее направление развития криогенных процессов и тот факт, что на глубине затухания годовых амплитуд температура ММП близка к нулю. Тем не менее, есть основания считать, что быстрого разрушения криогенных систем не произойдет, при условии отсутствия негативных хозяйственных воздействий. Установлено, что на замедление темпов изменения криогенных геосистем большое влияние оказывают «волны холода», проникающие в слой затухания годовых амплитуд после холодных зим. Кроме того, при высоких температурах ММП большая часть поступающего в грунт тепла затрачивается на фазовые переходы, поэтому дальнейшее повышение температуры ММП будет происходить достаточно медленно. Результаты палеогеографических исследований [Бляхарчук и др. 2015] позволяют предположить, что, по крайней мере часть современных криогенных геосистем сформировалась 4,5 – 3,5 тыс. лет назад и за это время сохранилась, несмотря на то, что временами возникали условия для развития термокарста.

#### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке: проекта РФФИ-13-05-00811А; и Программы РАН ОНЗ № 12, международных проектов CALM и TSP.

#### **Литература**

- Бляхарчук Т.А., Магур М.Г., Пономарева О.Е., Москаленко Н.Г., Гравис А.Г., Бердников Н.М. Динамика растительного покрова крупнобугристого торфяного болота зоны прерывистой мерзлоты на севере западной Сибири. «Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы» (в печати).
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – Росгидромет, 2014. 61 с. <http://voeikovmgo.ru/download/2014/od/od2.pdf>
- Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири. 2012/ отв. ред. Мельников В.П. – Новосибирск: Рос. академическое ид-во “Гео”, 2012. – 207 с.
- Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской Западно-Сибирской газоносной провинции – Новосибирск : Наука, 1983 – 166 с.
- Температурный режим плоскостных торфяников в подзоне массивно-островного распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири./Тезисы конференции «Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы» (в печати).

## Анализ временной структуры состояний ПТК на Уренгойском месторождении (на примере южной лесотундры)

К.А.Попов, П.Т.Орехов  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Для района Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения проведен предварительный анализ данных метеостанции г. Новый Уренгой. По методике Н.Л. Беручашвили, для изучения вклада суточных состояний в годовой режим функционирования ПТК (природно-территориального комплекса) на основе первичных данных выявлены суточные состояния характерные для южной лесотундры.

**Ключевые слова:** ландшафты, природные геосистемы, ПТК (природно-территориальный комплекс), стекс, временная структура

## Temporal Change of Landscape (Geosystems) Conditions at Urengoy Gas-Field (Southern Forest-Tundra)

K.A.Popov, P.T.Orekhov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

For Urengoy oil-gas and condensate field the preliminary analysis of the data of the Novy Urengoy weather station was carried out. The daily conditions typical of the southern forest-tundra were identified on the basis of the primary data with the help of N.L. Beruchashvili's methodology for study of the contribution of daily conditions to the annual functioning regime of natural territorial complexes (NTC).

**Key Words:** landscapes, natural geosystems, NTC (natural territorial complex); stex; temporal structure.

Короткопериодные, суточные колебания температуры, влажности, освещенности, движения воздуха (погодные условия) определяют суточную динамику биоты и локальных экзогенных геологических процессов протекающих в ландшафтах. Из суточных состояний складываются сезонные состояния природно-территориальных комплексов (ПТК).

Методика изучения вклада суточных состояний в годовой цикл функционирования ПТК была предложена Н.Л. Беручашвили для Кавказа (1986). Под состоянием ПТК он понимал устойчивое соотношение параметров, характеризующих его в определенный промежуток времени, в котором конкретные входные воздействия (факторы - солнечная радиация, осадки и др.) реализуются в выходные функции - процессы преобразования ландшафта (сток, прирост фитомассы и др.). Суточное состояние структуры ПТК - стекс, моделируют на основе данных метеостанций. Результаты анализа временной структуры ПТК позволяют сравнить структуры разных районов с целью выявления черт сходства и различия и оценить устойчивость ландшафтов.

В криолитозоне годовой цикл (спектр) складывается из стексов, зависит от таких параметров как температура воздуха, температура и режим увлажнения в приземном слое (воздух - почвенно-растительный покров - сезонно-талый слой, СТС). Стексы определяют интенсивность

биологического круговорота, энергетический баланс и развитие - динамику, смену состояний ПТК. и существенно влияют на распространение типов многолетнемерзлых пород (ММП), их температуру, глубину сезонного протаивания и интенсивность проявления криогенных процессов.

Анализ данных метеостанции (Новый Уренгой) позволил рассчитать годовой спектр состояний для Уренгойского месторождения. Начало сезонов фиксировали по смене положительных или отрицательных температур в течении суток, переходные сезоны - по суточным колебаниям температуры через 0°C. Среднесуточные (за 8 лет) значения температуры, осадков и снежного покрова показали, что в годовом цикле нивальные состояния стабильно занимают ≈ 60% в году, летний сезон, самый динамичный и короткий -2-11%; переходные периоды (весенний и осенний) ≈ 35%. Весенний период относительно стабилен по длительности - 8-11%, а осенний период отличается наибольшей изменчивостью продолжительности, и влияет на биомассу и температуру ММП. Измерения в скважинах на ключевых участках южной лесотундры показали: чем длиннее осень без снежного покрова, тем больше охлаждение пород.

Связи внутри ландшафтов позволяют использовать годовой спектр состояний ПТК как индикатор динамики сезонного протаивания и температуры ММП.

## Палеокриогенные процессы в торфяных отложениях юго-востока Западной Сибири

Ю.И.Прейс

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (ИМКЭС СО РАН), Томск*

### Реферат

Возраст, стратиграфия и распространение палеокриогенных процессов в торфяных отложениях вне криолитозоны Западной Сибири практически не изучены. По данным комплексных, детальных исследований и радиоуглеродного датирования 43 торфяных разрезов болот южной тайги и Барабинской лесостепи проведена реконструкция криогенных процессов на основе системно-эволюционного методического подхода поиска нарушений аутогенного развития болот и набора индикаторов криогенных процессов в торфяных отложениях современной криолитозоны. По данным реконструкции, в южной тайге многолетнемерзлые водоупоры в грунтах формировались в периоды похолоданий голоцена около 9200, 8200, 7200, 6300, 5100, 4300, 3000, а их деградация – в начале потеплений около 10600-10400, 9000-8700, 6900, 6100, 3900-3750, 2600-2500 лет назад (по  $^{14}\text{C}$ ). Их формирование в торфяных отложениях южной тайги происходило около 5200 л. н., а лесостепи – в конце похолоданий или начале потеплений около 4100-3900, 1700 и 1150 л. н. Пальза формировались в южной тайге около 4350-4300, 3050-2950, 2200-2150, 1750, 1350-1200, 580-520, 150 лет назад. Заращение термокарстовых озер или возобновление аккумуляции торфа происходило около 3650, 2450, 1950-1850, 275-250 л. н. и в XX веке. В различные периоды похолоданий второй половины голоцена южный предел распространения пальза варьировал от  $56^{\circ}53'$  до  $56^{\circ}21'$ , а южная граница криолитозоны доходила до  $54^{\circ}58'$ , до южной границы северной лесостепи.

**Ключевые слова:** палеокриогенные процессы; торфяные отложения; Западная Сибирь.

## Paleocryogenic Processes in Peat Deposits of the Southeast of Western Siberia

Yu.I.Preis

*Institute of monitoring of climatic and ecological systems of Siberian branch of Russian Academy of sciences (IMCES SB RAS), 10/3, Akademicheskoy av., Tomsk, 634055, Russia*

### Abstract

Age, stratigraphy and distribution of paleocryogenic processes in peat deposits outside the permafrost zone of Western Siberia practically are not studied. According to the multidisciplinary, detailed studies and radiocarbon dating of 43 peat sections from bogs of the southern taiga and Baraba forest-steppe cryogenic processes are reconstructed on the basis of system-evolutionary methodical approach of search of infringements of autogenic mire formation and the set of indicators of cryogenic processes in peat deposits of the modern cryolithozone. According to the reconstruction, in the southern taiga permafrost water-proof formed in soils in periods of cooling ca. 9200, 8200, 7200, 6300, 5100, 4300, 3000 BP (at  $^{14}\text{C}$ ), and their degradation – at the beginning of a warming ca. 10600-10400, 9000-8700, 6900, 6100, 3900-3750, 2600-2500 BP. Its formation in peat deposits of the southern taiga occurred ca 5200 BP, forest-steppe – at the end of a cooling or the beginning of a warming ca. 4100-3900, 1700 and 1150 BP. In the southern taiga palsa formed ca. 4350-4300, 3050-2950, 2200-2150, 1750, 1350-1200, 580-520, 150 BP. Overgrowing of thermokarst pools or renewal of peat accumulation occurred ca. 3650, 2450, 1950-1850, 275-250 BP and in the 20<sup>th</sup> century. During different cooling of the second half of the Holocene, southern limit of palsa distribution ranged from  $65^{\circ}53'$  to  $56^{\circ}21'$  N, and the southern boundary of the permafrost zone reached  $54^{\circ}58'$  N, the southern boundary of the northern forest-steppe.

**Key Words:** paleocryogenic processes; peat deposits; Western Siberia.

Для качественных прогнозов изменения границы криолитозоны при различных сценариях климатических изменений необходимы данные о распространении криогенных процессов в различные периоды голоцена. Для территории Западной Сибири реконструировано местоположение южной границы криолитозоны в аллереде, юном дриасе, пребореальном периоде и оптимуме голоцена [Velichko et al. 2002]. В эти периоды криогенные процессы были распространены преимущественно в минеральных породах, так как болотообразовательный процесс только начинал зарождаться. Следы более поздних криогенных процессов хорошо выражены и диагностируются в

минеральных почво-грунтах средней и южной тайги [Дюкарев Пологова 2007]. Однако, четкая дифференциация этих процессов по возрасту в значительной степени затруднена, в связи с проявлением их в одном слое. Торфяные отложения – оптимальные базовые объекты для датирования палеокриогенных процессов. Болота являются форпостами очагов многолетней мерзлоты (ММ) на южном пределе ее распространения. Реликтовые ММ торфяные бугры пучения (пальза) и очаги ММ встречаются в пределах всей лесной зоны Западной Сибири. На основании этого уточнено современное положение южной границы ММ пород Западно-Сибирской низменности. В восточной

части этого региона южный предел ММ достигает 67° с. ш. [Васильчук 2013]. Однако возраст, стратиграфия и масштабы распространения палеокриогенных процессов в торфяных отложениях вне криолитозоны в разные периоды похолоданий голоцена практически не изучены.

Цель – реконструкция криогенных процессов на юго-востоке Западной Сибири и определение южной границы криолитозоны в периоды похолоданий второй половины голоцена.

Реконструкция криогенных процессов выполнена на основе данных комплексных, детальных (с шагом 2-5 см) исследований и радиоуглеродного датирования 43 торфяных разрезов болот южной тайги и Барабинской лесостепи Западной Сибири, полученных автором в период с 2003 по 2014 гг. и некоторых датированных торфяных разрезов из литературных источников.

Следы криогенных процессов слабо сохраняются в торфяных отложениях, но достаточно хорошо диагностируются по косвенным признакам. Для реконструкции криогенных процессов в торфяных отложениях и подстилающих их почво-грунтах использованы системно-эволюционный методический подход поиска, определения характера и генезиса нарушений аутогенного развития болот абиогенными факторами и диагностические признаки влияния криогенных процессов на динамику, стратиграфию и свойства торфов болот современной криолитозоны из литературных источников, которые обобщены в коллективной монографии [Васильчук и др. 2007], а также выявленные автором [Прейс 2002, 2004, 2013]. При этом принято допущение о криогенном генезисе аналогичных нарушений на болотах зоны сезонного промерзания пород в периоды похолоданий голоцена. При выявлении нарушений нами учитывались видовой состав и характер сукцессий палеосообществ, полнота и очередность стадий водно-минерального режима, соответствие показателей свойств торфов (степени разложения, зольности, влажности, плотности, рН) условиям их формирования, согласованность изменений этих показателей по глубине залежи, глубина залегания генетически однородных или разновозрастных слоев торфа, скорость аккумуляции торфа, а также содержание растительных пигментов, численность и видовой состав раковинных амёб и диатомовых водорослей, полнота спорово-пыльцевых спектров. Выявление прекращений торфонакопления проводилось датированием палеостратиграфических рубежей в торфяных залежах парами образцов, и применялся расчетный метод с использованием скорости аккумуляции слоев-аналогов данного разреза, сходных по свойствам, но отлагавшихся в благоприятных условиях, и датировок аналогичных стадий развития других разрезов района исследования.

Этот метод позволил реконструировать процессы формирования и деградации ММ водоупоров в почвах и торфяных отложениях, формирование и термокарст многолетнемерзлых торфяных бугров пучения.

Диагностическими признаками наличия ММ водоупора в почво-грунтах являются: несоответствие типа заболачивания геохимии почво-грунтов (олиготрофный и

мезотрофный тип заболачивания карбонатсодержащих грунтов), а его деградации – последующее разболачивание (прекращение аккумуляции торфа), формирование гетеротрофных комплексов с озерами на стадии заболачивания (наличие в придонных слоях торфа, ОМО или сапропеля смеси остатков растений разных экологических групп по трофности и увлажненности – мезогидрофильных олиготрофных сфагновых мхов и эвтрофных макрофитов и прибрежно-водных растений), возврат или псевдовозврат на более минеротрофную стадию развития при отсутствии признаков болотных пожаров. Диагностический признак наличия ММ водоупора в торфяных отложениях – катастрофический характер олиготрофизации болот без прекращения аккумуляции торфа. Доказательством необходимости его наличия являются данные о постепенном характере трансгрессии эвтрофных или олиготрофных сфагновых мхов в эти же периоды похолоданий в случае его отсутствия.

Согласно выполненным реконструкциям, в южнотаежной подзоне формирование ММ водоупоров в грунтах происходило в периоды сухих похолоданий голоцена около 9200, 8200, 7200, 6300, 5100, 4300, 3000, а их деградация – в начале последующих потеплений около 10500-10400, 9550, 9000-8700, 6900, 6100, 3900-3750, 2600-2500 лет назад (по  $^{14}\text{C}$ ). Формирование ММ водоупоров в торфяных залежах южной тайги выявлено лишь около 5200 л. н. В лесостепи катастрофическая олиготрофизация через сообщества, преимущественно со *Sphagnum fuscum*, происходила в самом конце похолоданий или начале потеплений около 4100-3900, 1700 и 1150 л. н., когда с возрастанием глубины протаивания мерзлоты формировалась надмерзлотная верховодка из атмосферных осадков.

Диагностическими признаками формирования крупных ММ бугров пучения (пальза), прежде всего, являются прекращение аккумуляции торфа в период сухого похолодания и формирование вторичных озер в период последующего потепления. При этом, как правило, в торфяной залежи формируется палеостратиграфический рубеж из нижнего, более разложившегося слоя, отражающего переход поверхности болота в субэаральные условия и верхнего, менее разложившегося, отражающего переход в гипераркальные условия. Ботанический состав палеостратиграфических рубежей значительно варьирует в зависимости от стадии развития и степени обводненности болота, высоты пальза, продолжительности пучения и деградации, наличия термокарстового озера. Для палеостратиграфических рубежей болот юга лесной зоны характерна обогащенность его нижнего слоя остатками древесных пород, ерника и пушицы влагалитной, а верхнего слоя - *Sphagnum magellanicum*, реже *S. fuscum* или топяных сфагновых мхов. При этом, катастрофический переход на олиготрофную стадию развития обычно происходит после деградации мерзлоты. Скрытые, не выявляемые по ботаническому составу, стадии вторичных озер диагностируются по экстремумам численности диатомовых водорослей и непроверно низкой

плотности нижнего слоя палеостратиграфического рубежа, а их термокарстовый генезис – совпадением возраста торфа дна озер с периодами сухих похолоданий.

Реконструировано формирование палыза в средней и южной тайге в экстемумы сухих похолоданий около 4300, 3050-2950, 2180-2115, 1750, 1300-1200, 580-520, 150

лет назад и их деградация, судя по возрасту зарастания термокарстовых озер и возобновлению аккумуляции торфа, – перед 3650, 2450, 1950-1850, 275-250 л. н. и в XX веке.

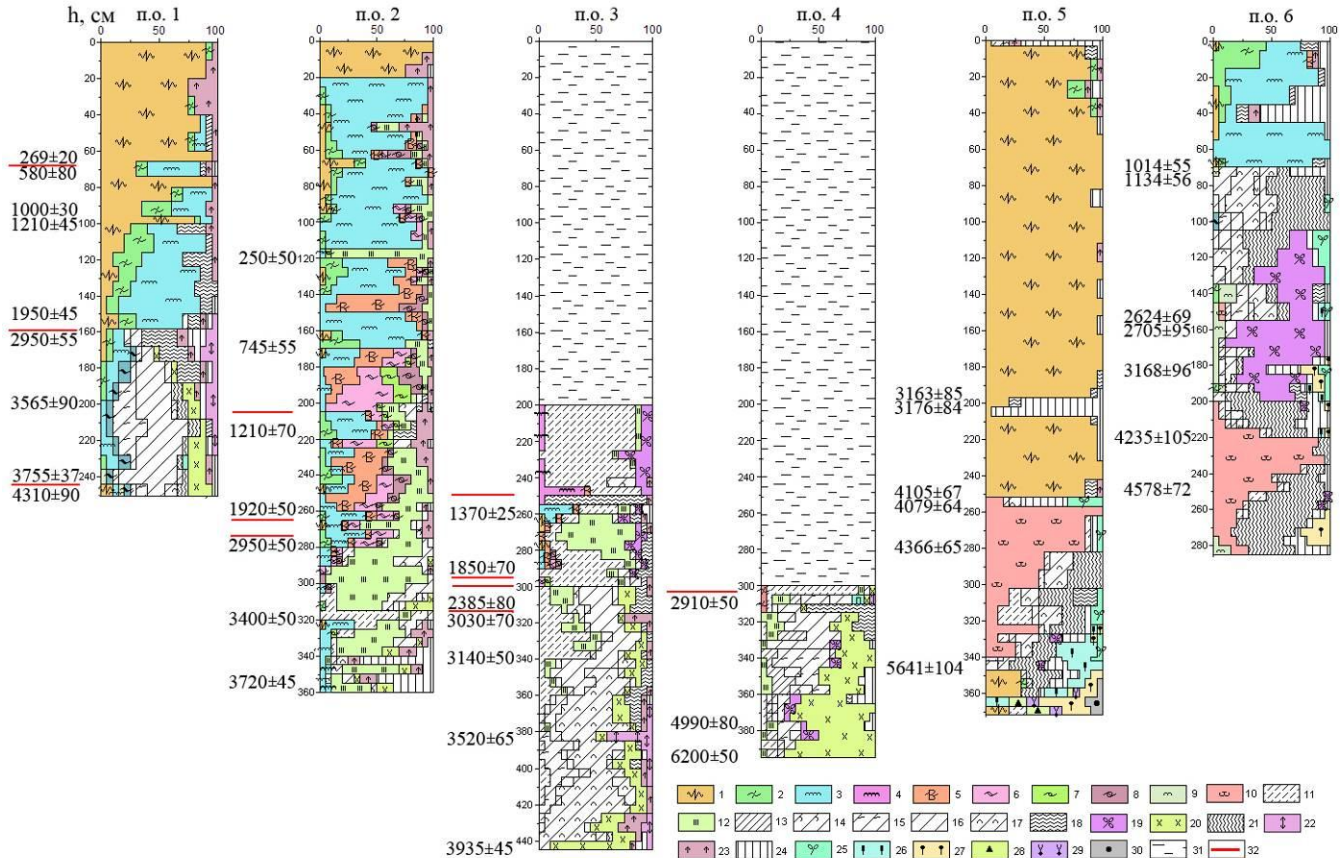


Рис.2. Стратиграфические колонки торфяных залежей южнотаежных болот Бакcharское (п.о. 1), Иксинское (п.о. 2-4), с криогенными прекращениями торфонакопления, и лесостепных рямов Горелый (п.о. 5) и Шерстобитовский (п.о. 6).

Условные обозначения: Растительные остатки: 1) *Sphagnum fuscum*; 2) *S. angustifolium*; 3) *S. magellanicum*; 4) *S. papillosum*; 5) *S. balticum*; 6) *S. majus*; 7) *S. jensenii*; 8) *S. fallax*; 9) *S. centrale*; 10) *S. teres*; 11) гипновые мхи; 12) шейхцерия; 13) осоки; 14) *Carex limosa*; 15) *C. rostrata*; 16) *C. lasiocarpa*; 17) *C. cespitosa*; 18) пушица; 19) вахта; 20) хвощ; 21) тростник; 22) карликовая березка; 23) вересковые кустарнички; 24) древесные остатки; 25) злаки; 26) рогоз; 27) прибрежно-водные растения; 28) роголистник; 29) наяда; 30) хара. 31) Вода. 32) Прекращения торфонакопления.

В позднеледниковье и Dr<sub>3</sub> вся Западная Сибирь находилась в зоне сплошной ММ, а в РВ южная часть криолитозоны охватывала таежную зону и Барабинскую лесостепь [Velichko et al. 2002]. Активное протаивание ММ пород в РВ и формирование ММ водоупоров на значительных площадях в периоды возврата холодов в раннем голоцене обусловили площадной характер заболачивания, формирование огромных по площади болот предбореального и бореального возраста и быстрый переход их на олиготрофную стадию развития. Эти болота сразу сформировались как мощные буферные системы, слабо реагирующие на климатические изменения. Слабая подверженность их обсыханию в сухие потепления препятствовала активному развитию криогенных процессов в более поздний период.

В период направленного похолодания климата второй половины голоцена на территории лесной зоны происходило очаговое формирование ММ. Это было

обусловлено, как менее суровыми климатическими условиями, так и значительной дифференциацией мезо- и микрорельефа, преломляющими температурный и влажностный режим климата. Воздействию криогенных процессов были наиболее подвержены в целом водораздельные пространства и, в частности, положительные элементы их микрорельефа. Формировались болота меньшей площади, с разнотипными болотными комплексами. Они обладали слабыми буферными свойствами. Поэтому, значительное обсыхание их в теплые сухие периоды способствовало проявлению криогенных процессов в последующие сухие похолодания.

Анализ распространения палеостратиграфических рубежей по площади болот (по фондовым материалам детальной геологической разведки торфяных месторождений) и данные их датирования позволили установить, что в период сухого похолодания около 3000

л. н. на водораздельных болотах южной тайги (северо-восточные отроги Васюганского болота), находящихся в это время преимущественно на эвтрофных и мезотрофных стадиях развития, промерзание и пучение торфяных отложений с прекращением торфонакопления происходило практически на всей их площади и имело максимальные масштабы для второй половины голоцена.

Во время частых кратковременных похолоданий первой половины SA периода происходило активное формирование ММ водоупоров в грунтах, что способствовало активному заболачиванию окружающих болота суходолов. Процессы пучения палза были менее выражены, вероятнее всего, из-за высокой обводненности болот, обусловленной не только увеличением атмосферных осадков, но и поступлением талых вод из очагов деградировавшей мерзлоты.

В Малый Ледниковый период на эвтрофных и мезотрофных участках болот также происходило, но имело локальный характер, формирование крупных бугров пучения. К этому времени основные площади болот уже перешли на олиготрофную стадию развития. На них возникали низкие сфагновые бугорки пучения. Эти бугорки не имели несущего каркаса из корней и стволов сосны и кустарничков. Поэтому, после деградации мерзлоты они превратились в пятна *Sphagnum fuscum* на фоне обводненных топей. Частая встречаемость таких пятен, практически на всех исследованных нами южнотаежных и подтаежных болотах, особенно на приозерных топях и славинах, свидетельствует о широком распространении мелкоочаговой мерзлоты в этот период.

Согласно полученным данным, южный предел распространения крупных торфяных бугров пучения на юго-востоке Западной Сибири в различные периоды похолоданий второй половины голоцена достигал  $56^{\circ}21'$  –  $56^{\circ}53'$  с. ш., а южная граница зоны многолетней мерзлоты в периоды похолоданий около 4100, 3000, 1700 лет назад проходила в Барабинской лесостепи, не севернее  $55^{\circ}19'$  с. ш. (Убинские ямы), а около 1100 л.н.

$54^{\circ}0'$  с. ш. (Шерстобитовский рям).

### Литература

- Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. 2007. Современные криоморфозы в ландшафтах южной тайги Западной Сибири // География и природные ресурсы, 2007. – № 1. – С. 96–100.
- Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. 2008. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / под ред. действ. чл. РАЕН, проф. Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. – 571 с.
- Васильчук Ю.К. 2013. Современное положение южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской низменности // Криосфера Земли, 2013. – Т. XVII. – № 1. – С. 17–27.
- Прейс Ю.И. Криогенез болотообразовательного процесса на территории Большого Васюганского болота // Большое Васюганское болото. Современное состояние и процессы развития / под общей ред. чл.-корр. РАН М.В. Кабанова. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2002. – С. 45–63.
- Прейс Ю.И. Инверсионные грядово-мочажинные комплексы низинных болот криолитозоны Средней Сибири // Известия Томского политехнического университета, 2004. – Т. 307. – № 4. – С. 64–70.
- Прейс Ю.И., Курьина И.В. 2012. Реконструкция высокого разрешения палеозкотопов болот южной тайги Западной Сибири как отклик на изменения климата голоцена // Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота / под ред. чл.-корр. РАН М.В. Кабанова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – С. 14–38.
- Velichko A.A., Catto N., Drenova A.N., Klimanov V.A., Kremenetski K.V., Nechaev V.P. 2002. Climate changes in East Europe and Siberia at the Late glacial–holocene transition // Quaternary International. V 91, 2002, pp. 75–99.



## Использование биоресурсов Арктики в сельском хозяйстве Тюменского региона

Е.П.Ренев, В.Н.Тимофеев  
ФГБНУ "Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северного Зауралья"  
С.А.Петров, О.А.Симонов, А.М.Субботин  
Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

### Реферат

В докладе обобщены результаты лабораторных и полевых опытов по изучению влияния некоторых штаммов бактерий, извлеченных из многолетнемерзлых пород (ММП) на традиционные и перспективные промышленные сельскохозяйственные культуры Тюменского региона. Вопрос рассмотрен в практическом аспекте – использование этого влияния для решения специфичных проблем сельскохозяйственного производства характерных для Тюменской природной зоны.

**Ключевые слова:** бактерии, биотехнологии, сельское хозяйство, растениеводство.

## The Use of Arctic's Biological Resources in the Agriculture of the Tyumen Region

E.P.Renev, V.N.Timofeev  
"Scientific research Institute of agriculture of Northern Zauralye"  
S.A.Petrov, O.A.Simonov, A.M.Subbotin  
Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia

### Abstract

This report summarizes the results of laboratory and field experiments to study the effects of bacteria extracted from permafrost soil on traditional and promising industrial crops of the Tyumen region. The question addressed in the practical aspect – the use of this influence to solve specific problems of agricultural production of Tyumen natural areas.

**Key Words:** bacteria, biotechnology, agriculture, plant science

### Введение

Микроорганизмы, извлеченные из глубин многолетнемерзлых пород (ММП) - уникальные живые существа, приспособившиеся к выживанию в тяжелейших Арктических условиях. Как показывают выполненные исследования, ряд этих микроорганизмов потенциально обладают целым набором полезных для человека качеств. Так уже известно о геропротекторных [Брушков и др. 2009] и репарационных [Калёнова и др. 2014] их свойствах. Перспективно их использование в качестве иммуностимуляторов и стимуляторов роста для сельскохозяйственных растений, и животных [Калёнова и др. 2013].

Изучение извлеченных из ММП бактерий, создание препаратов на их основе, отработка технологий применения этих препаратов открывают путь к использованию еще одного уникального Арктического богатства – древних бактериальных ресурсов. Несмотря на то, что имеющиеся в распоряжении материалы научно-исследовательских работ позволяют надеяться, что применение реликтовых бактерий принесет практическую выгоду и для других сфер сельхозпроизводства, мы остановимся только на одной, во многом определяющей отрасли сельского хозяйства – растениеводстве.

### Биологический материал

Биологический материал получен из кернов ММП предоставленных ТюмНЦ СО РАН А.В.Брушковым (ТюмГНГУ). Керны отобраны из разведочных скважин в районе Тарко-Сале с глубин от 2 до 32 метров. Из образцов выделены различные штаммы бактерий рода *Bacillus* – сапропелевые бактерии, ближайшие родственники которых, наши современные микроорганизмы этого рода широко используются в различных отраслях человеческой практики. Так, широко известен медицинский препарат Бактисуптил, биостимулятор Фитоспорин, моющие средства на основе этих бактерий и т.д.

Выделенные из ММП бактерии способны к замедленному метаболизму и могут длительно сохраняться в условиях низких температур. Они были вынуждены адаптироваться к неблагоприятным факторам среды и, следовательно, могут обладать высокой приспособляемостью к почвенно-климатическим условиям Западной Сибири. Это позволяет надеяться, что создание различных препаратов на основе бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород (ММП), для использования в сельскохозяйственном производстве является перспективным.



В работах по изучению воздействия штаммов рода *Bacillus* выделенных из ММП на растения применялись штаммы, прошедшие проверку безопасности для животных в соответствии принятыми в Российской Федерации методиками и правилами.

### Перспективы использования препаратов в растениеводстве

В Тюменском регионе резко континентальный климат, характеризующийся холодной продолжительной зимой и коротким, умеренно жарким летом. По итогам пятилетних наблюдений минимальная продолжительность теплого периода составила 112 дней. Для нашей зоны характерна, быстрая влажная весна (до 80% среднегодового количества осадков выпадает весной и осенью), поздние заморозки (заморозки возможны до 12 июня), летние засухи, осенние дожди и быстрое наступление холодов (первый осенний заморозок возможен с 19 августа). Вся эта совокупность неблагоприятных для земледелия факторов приводит к тому, что: во-первых, высок риск возделывания теплолюбивых культур (рапс, кукуруза, соя) без которых невозможно эффективное кормление сельскохозяйственных животных; во-вторых, при возделывании традиционных для нашей полосы культур (овес, ячмень, пшеница) высока вероятность засухи в период кущения растений, что приводит к значительному уменьшению количества продуктивных стеблей и, следовательно, к потере урожая, в-третьих, высоки риски возделывания озимых культур и ограничен период проведения осенних посевных работ. Озимые культуры осенью могут не успеть пройти необходимую фазу развития и не перенести типичную для наших условий зиму.

Многолетние лабораторные и полевые исследования, а также полевые испытания, показывают, что применение в технологии возделывания сельскохозяйственных культур биоактивных препаратов на основе бактерий из ММП может помочь в решении обозначенных выше проблем.

### Лабораторные испытания

Лабораторные испытания воздействия бактерий из ММП на различные растения проводились в течении длительного времени специалистами ТюмНЦ СО РАН (более пяти лет), часть их повторены в НИИСХ Северного Зауралья в 2014 году. Взаимодействие двух научно-исследовательских организаций регламентировано договором о совместной научной деятельности. В рамках этого договора исследования ТюмНЦ СО РАН носят в основном поисковый характер, их цель выявить особенности воздействия имеющихся штаммов бактерий на растения, в том числе и для подбора наиболее перспективных для технологического использования микроорганизмов. Работа специалистов НИИСХ Северного Зауралья направлена на отработку технологии применения препаратов в сельскохозяйственном производстве, организацию полевых испытаний и сравнение действия препаратов

изготовленных на основе бактерий из ММП с другими препаратами.

В результате многолетней работы ученых накоплен значительный объем экспериментального материала. Но вследствие того, что исследования проводились с различными целями и по различным методикам, его некорректно сравнивать количественно. Несмотря на то, что в распоряжении авторов имеются данные более ярко демонстрирующие ниже обсуждаемые результаты, для иллюстрации их выбраны исследования, выполненные в НИИСХ Северного Зауралья в 2014 году. Эти исследования выполнены по принятым в сельскохозяйственной отрасли стандартам, с необходимой степенью достоверности, квалифицированными специалистами, имеющими многолетний опыт подобных исследований. В работе использовался только один штамм бактерий, подготовленный в ТюмНЦ СО РАН, который был передан в НИИСХ Северного Зауралья для проведения лабораторных и полевых испытаний с соответствующей инструкцией по его применению, поэтому, далее по тексту мы будем говорить об испытаниях этого биопрепарата.

### Всхожесть и энергия роста

Под всхожестью понимают процент проросших семян, а под энергией роста скорость прорастания семян.

Обычно эксперимент проводят в чашках Петри, в которую помещаются между слоями увлажненной фильтровальной бумаги семена. Одновременно закладывается несколько повторов опыта. Через определенное время подсчитывается количество проросших семян.

Накопленный экспериментальный материал позволяет сделать вывод - под влиянием определенных штаммов микроорганизмов из ММП всхожесть семян всегда повышается, и энергия роста увеличивается. В ряде опытов, фиксировалось значительное, более чем на 20% увеличение этих показателей.

Таблица 1. Данные опыта по определению всхожести и энергии роста семян.

Культура	Всхожесть, %		Энергия роста, %	
	Контр оль	Опыт	Контр оль	Опыт
Соя	80	85	68	76
Горох	91	94	84	87
Овес г/з	94	97	90	93

В НИИСХ Северного Зауралья впервые выполнены эксперименты для трех, важных для нашего региона культур: сои (сорт СибНИИК 315), гороха (сорт Кумир) и овса голозерный (сорт Тюменский голозерный). Данные опытов приведены в (табл.1), и подтверждают сделанный выше вывод о влиянии бактерий из ММП на такие важнейшие производственные характеристики семян как всхожесть и энергия роста.



### Сила роста семян

Сила роста семян характеризуется зеленой массой образовавшихся за определенное время ростков, массой корней, а также другими морфологическими показателями растений. Для этих исследований растения высеваются в специальные емкости, заполненные прокаленным песком, культивируются в равных условиях.



Рисунок 1. Эксперимент по определению силы роста растений.

Рисунки 1 и 2 иллюстрируют ход таких экспериментов, в таблице 2 приведены данные для трех уже обозначенных выше культур. Данные таблицы - отношение количественных показателей в опытах с использованием бактерий к значениям контрольных групп.



Рис.2. Определение силы роста для сои.

Из приведенных данных следует, что использование биопрепарата стимулирует рост растения на ранних периодах его развития, что приводит к значительному улучшению морфологических показателей. Этот вывод подтверждается имеющимся экспериментальным материалом, полученным в других опытах другими исследователями и на других культурах.

В обсуждаемом цикле экспериментов, выполнялась фито экспертиза – семена помещались в рулон фильтровальной бумаги, проращивались, затем специалистом выполнялась оценка количества и типа возникших заболеваний.

В результате экспертизы не выявлено влияния бактерий на развитие типичных для растений заболеваний.

Таблица 2. Процентное увеличение силы роста под действием бактерий из ММП в сравнении с контрольными значениями.

Культура	Количество растений, %	Ростки, %	Корни, %
Соя	112,8	111,1	126,4
Горох	101,2	110,2	102,5
Овес г/з	116,4	124,2	116,7

### Повышение холодостойкости с/х культур

Холодостойкость растений характеризуется коэффициентом холодостойкости. Который показывает способность растения развиваться при пониженных температурах.

Ниже представлены данные по изменению холодостойкости сои при обработке биопрепаратом. В опыте семена проращивали в лабораторных условиях в течении 20 дней при температуре  $22 \pm 1,5^\circ\text{C}$  и в холодильной камере при температуре  $+10 \pm 1,5^\circ\text{C}$ . Опыт повторяли многократно, данные опытов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Холодостойкость сои.

	Коэффициент холодостойкости, %
Контроль	74,1
1-е повторение	102,0
2-е повторение	83,0
3-е повторение	95,3
4-е повторение	91,4
5-е повторение	96,4
Средние значения	93,6

Некоторое увеличение холодостойкости при обработке семян изучаемым биопрепаратом наблюдалось для всех исследованных культур (пшеница, ячмень, овес, горох), но наиболее сильно отреагировала соя, уровень холодостойкости которой увеличился в ряде опытов более чем на 20%.

### Обобщение лабораторных исследований

Накопленный в ходе экспериментальных исследований материал позволяет заключить, что при обработке семян определенными штаммами бактерий из ММП они воздействуют на растение как биологический стимулятор, что приводит к:

- 1) Увеличению всхожести семян.
- 2) Повышению силы роста семян.
- 3) Увеличению энергии прорастания семян
- 4) Повышению холодостойкости растений

### Полевые испытания

Полевой опыт проводился на делянках размером 20м x 1м на которых в четырех повторениях для каждой культуры изучалось влияние предпосевной обработки

семян биопрепаратом ТюмНЦ СО РАН. Обработка семян производилась путем опрыскивания за час до посева. При проведении опыта соблюдалась принятая в институте технологическая цепочка: обработка почвы, внесение удобрения, нормы высева, глубина заделки семян, обработка фунгицидами и гербицидами. Опыты проводились на пшенице сорта Икар, ячмене сорта Абалак, овсе сорта Отрада, Горохе сорта Кумир и овсе голозерном - Тюменский голозерный. Одна из экспериментальных делянок показана на фотографии (рис.3)



Рисунок 3. Делянка пшеницы, обработанной бактериями.

Специалистами оценивался широкий круг параметров: густота всходов растений, фитосанитарное состояние, выполнен структурный анализ растений, определено содержание каротина, определена урожайность.

Следует отметить, что из-за погодных особенностей вегетационного периода 2014 года произошла задержка развития растений на срок более чем 14 дней. К этому привело недостаточное обеспечение теплом в июле, сумма среднесуточных температур в этом месяце был на 4<sup>0</sup>С ниже нормы и составила 78% от нормы. Это привело к тому, что растения находились в стрессовом состоянии во второй фазе вегетационного периода, и не смогли раскрыть заложенный в них потенциал. Полученные данные свидетельствуют (табл.4) о том, что препаратом микроорганизмов из ММП привела к увеличению урожайности практически для всех культур.

Таблица 4. Изменение урожайности под влиянием бактерий из ММП.

Культура	Контроль, т/га	Опыт, т/га	% к контролю
Пшеница	2,06	2,06	0,00
Ячмень	4,08	4,16	1,96
Овес	3,91	4,11	5,12
Овес г/з	1,47	1,66	12,93
Горох	1,19	1,25	5,04

Увеличение продуктивности зерновых сельскохозяйственных культур под воздействием бактерий из ММП подтверждают и многолетние деляночные эксперименты, выполняемые специалистами ТюмНЦ СО РАН. Эти исследования дают большой процент увеличения урожайности, но они не встроены в реальный технологический процесс.

Кроме этого, необходимо упомянуть об еще одном важном результате проведенных полевых опытов - на обработанных биопрепаратом делянках резко снизилось поражение корневыми гнилями в фазу кущения зерновых. Для пшеницы зафиксировано уменьшение на 69,2%, а для ячменя на 20,8%.

## Выводы

Накопленный материал позволяет заключить, что выделенные из ММП определенные штаммы бактерии рода *Bacillus* перспективны как с точки зрения дальнейшего углубленного изучения их взаимодействия с живыми объектами так и с позиции их технологического применения.

## Применение в сельскохозяйственном производстве

Применение описанных выше бактерий в сельскохозяйственном производстве в качестве биологического стимулятора перспективно так как:

- Увеличивает всхожесть семян.
- Ускоряет развитие растений в ранневесенний период даже в условиях низких температур. Возрастает устойчивость растений к воздействию неблагоприятных природных факторов.
- Возрастает показатели иммунитета растений, что позволит снизить объем применяемых в производстве фунгицидов.
- Устойчивое развитие теплолюбивых культур позволит более уверенно возделывать их более широких границах ареала произрастания.
- Обработка биостимулятором семян многолетних трав позволит получать более качественные результаты при рекультивации северных территорий.

## Литература

- Брушков А.В. и другие. 2009. Реликтовые микроорганизмы криолитозоны как возможные объекты геронтологии. // Успехи геронтологии. 2009. Т. 22. № 2. С. 253-258.
- Калёнова Л.Ф., Новикова М.А., Субботин А.М. 2014. Влияние микроорганизмов из вечной мерзлоты на репарацию кожной раны. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2014. Т. 158. № 10. С. 480-484.
- Калёнова Л.Ф., Субботин А.М., Бажин А.С. 2013. Влияние бактерий из многолетнемерзлых пород разного геологического возраста на иммунную систему. // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2013. № 1. С. 128.



## Влияние водонасыщения и фракционного состава кварцевого песка на разложение гидратов природного газа при различных давлениях и температуре 268К.

А.М.Решетников, А.Н.Нестеров  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень

### Реферат

В работе изучено разложение гидратов при различных давлениях и температуре 268К. Гидраты образованы в песке фракций 100-200 мкм и 200-500 мкм с полным и частичным насыщением водой. Определено, что количество разложившихся гидратов зависит от влажности песка, движущей силы  $\Delta p$  и почти не зависит от размера частиц. Наиболее устойчивыми к разложению являются гидраты полученные в песке с полным насыщением водой.

**Ключевые слова:** Газовые гидраты, разложение гидратов, устойчивость гидратов, пористая среда.

## The Influence of Water Saturation and Fractional Composition of Quartz Sand on the Decomposition of Hydrates of Natural Gas at Different Pressures and Temperature 268K.

A.M.Reshetnikov, A.N.Nesterov  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia

### Abstract

In this paper we study the decomposition of hydrates at various pressures and temperatures 268K. Hydrates are formed in the sand fraction 100-200  $\mu\text{m}$  and 200-500  $\mu\text{m}$  with full and partial saturation of water. Determined that the amount of decomposed hydrates depends on the humidity of the sand, and the driving force  $\Delta p$  is nearly independent of particle size. Hydrates obtained fully water-saturated sand are more resistant to decomposition.

**Key Words:** gas hydrates, hydrates dissociation, stability hydrates, porous medium.

### Введение

Мировой интерес к природным газовым гидратам связан с одной стороны с огромным количеством газа содержащегося в гидратах [Соловьев 2002, Sloan 1998], с другой стороны с возможностью хранения газа в газогидратных природных хранилищах [Дучков и др. 2009, Шагапов и др. 2008].

Добыча природного газа из гидратов, так же как и закачка природного газа в газогидратные хранилища имеет определенные риски. Метан является более сильным парниковым газом, чем  $\text{CO}_2$  и его выбросы опасны для окружающей среды. Поэтому необходимо иметь представления о поведении газовых гидратов при незапланированном понижении давления или повышении температуры, которые могут вызвать разложение гидратов.

Горные породы, содержащие газовые гидраты имеют широкое распределение частиц по размерам от крупнозернистых песков до глинистых минералов [Clennell et al. 1999]. Хорошо известно, что пористая

среда может оказывать влияние на температуру и давление диспергированного в ней гидрата. Так, в грубодисперсных породах типа песчаников температура разложения гидратов равна температуре разложения объемной фазы [Истомин Якушев 1992]. В более дисперсных средах равновесная температура разложения ниже температуры объемной фазы или, если говорить о давлении, равновесное давление выше давления объемной фазы [Handa & Stupin 1992]. Кроме того, может оказывать влияние солевой состав поровой влаги [Мельников Нестеров 2001], наличие или отсутствие жидкофазной пленки между гидратом и матрицей.

При разложении гидратов происходит поглощение тепла и охлаждение окружающей породы. Неконтролируемое разложение может вызвать замерзание поровой влаги и привести либо к закупориванию пор, либо к появлению трещин в породе. Неконтролируемый процесс диссоциации может нанести значительный ущерб не только в процессе добычи, но и повлиять на экологию. Для безопасного хранения и извлечения газа из газовых гидратов необходимо знать

влияние влагонасыщенности и размера частиц на диссоциацию газовых гидратов.

В настоящей работе представлены данные по разложению гидратов в кварцевом песке с размером частиц 100-200 и 250-500 мкм.

Цель настоящего исследования заключалась в определении влияния влажности и фракционного состава песка на диссоциацию гидратов природного газа при различных давлениях и температуре 268К.

### Экспериментальная часть

Основным элементом экспериментальной установки является реактор высокого давления, рис1. Реактор, внутренним объемом 470 см<sup>3</sup>, изготовлен из нержавеющей стали и рассчитан на рабочее давление 15 МПа. На боковой поверхности реактора имеются смотровые окна для визуального наблюдения процессов, происходящих внутри реактора. Реактор располагается в термостатируемой камере Teledor, объемом 8 м<sup>3</sup>. Точность поддержания температуры в камере составляет  $\pm 2$  К. При этом точность поддержания температуры в реакторе, за счет его массивности, была не хуже  $\pm 0,2$  К. Для измерения температуры внутри реактора использовали два термодатчика: один датчик размещен в газовой фазе, другой в образце. Точность измерения температуры используемых датчиков  $\pm 0,1$ К. Давление в реакторе измеряли цифровым манометром ДМ 5002Г с пределом измерения 16 МПа и имеющим погрешность 0,15% от максимального значения.

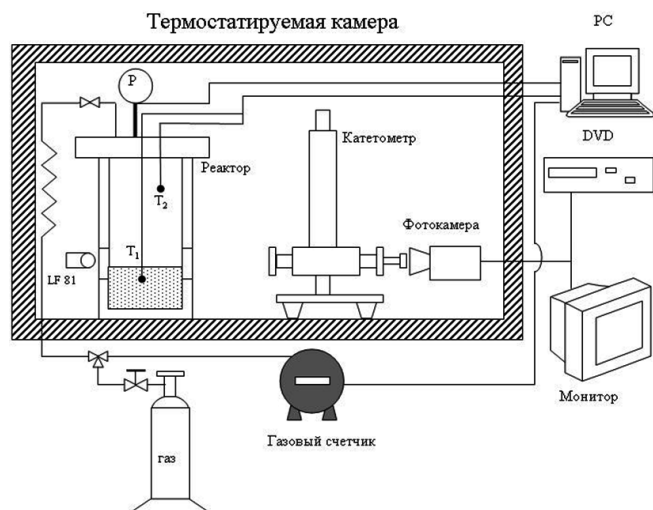


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для получения газовых гидратов.

В экспериментах мы использовали природный газ ( $C_1$ -98,6,  $C_2$ -0,46,  $C_3$ -0,24,  $C_4$ -0,06,  $C_5$ -0,02,  $CO_2$ -0,15,  $N_2$ -1,01 мол.%), кварцевый песок (произведен ЗАО Карьер "Гора Хрустальная" ТУ 571726-002-45588031-01) фракций 100-200 и 200-500 мкм и дистиллированную воду.

Методика приготовления образцов состояла в следующем. Кварцевый песок массой 100 г насыщали дистиллированной водой. В экспериментах были использованы образцы с полным и частичным насыщением водой. Для полного насыщения образца

фракции 200-500 мкм необходима масса воды в количестве 30 г, для образцов фракции 100-200 мкм – 35 г, для частичного насыщения образцов использовали 20 г воды. Насыщенный водой песок загружали в реактор. Реактор вакуумировали и заправляли газом. Заправка реактора газом происходила при положительных температурах и вне области гидратообразования, это позволяло насытить образец газом при давлении эксперимента.

Как известно, при образовании гидратов в пористых средах возможно образование гидратной шапки на поверхности пористой среды. Если допустить образование гидратов в виде гидратной шапки, то их поведение ни чем не будет отличаться от поведения объемных образцов.

Для предотвращения образования гидратной шапки и увеличения скорости получения гидратов образец замораживали, а затем медленно нагревали до 274 К. После того как температура выровнялась и давление переставало изменяться цикл замораживание-нагрев повторяли. Количество образовавшегося гидрата рассчитывали по падению давления с учетом растворенного газа. Добиться 100% перехода воды в гидрат довольно сложно. В своих экспериментах мы завершали получение гидратов, когда давление в реакторе переставало понижаться после цикла замораживание-нагрев. Переход воды в гидрат при этом составлял от 75 до 90%.

По завершению гидратообразования реактор охлаждали до 268 К и понижали давление. Понижение давления осуществляли в два этапа. На первом этапе давление понижали до линии равновесия лед-гидрат-газ. На втором этапе медленно, стараясь не вызвать изменения температуры в реакторе, понижали давление до давления эксперимента. Обычно отклонение температуры образца при понижении давления составляло не более 1-2 К. При разложении гидратов давление в реакторе поддерживали путем выпуска газа из реактора. Объем газа, выходящего из реактора, измеряли газовым счетчиком РГ 7000, точность измерений 20 см<sup>3</sup>. Необходимо так же отметить, что в качестве равновесных параметров гидратообразования природного газа использовали данные для гидратов метана.

Для определения влияния давления на стабильность гидратов полученных в песке разной фракции и с разным насыщением водой мы провели три отдельные серии экспериментов. В первой серии экспериментов давление было понижено в область метастабильных состояний [Melnikov et al. 2009]. В этой области гидраты могут оставаться в метастабильном состоянии, либо разлагаются на лед и газ [Melnikov et al. 2010].

Во второй серии экспериментов давление понижали примерно до 1.3МПа. Это давление ниже области метастабильных состояний и гидраты должны разлагаться либо на лед и газ, либо на переохлажденную воду и газ с последующей кристаллизацией переохлажденной воды.

В третьей серии экспериментов давление понижали до атмосферного давления. При этом оценивали влияние



насыщенности и фракционного состава песка на эффект самоконсервации гидратов.

### Результаты и их обсуждение

В первой серии экспериментов, давление было понижено в область метастабильных состояний ограниченную линиями лед – гидрат – газ и метастабильная вода – гидрат – газ. После понижения давления за первые 150 минут произошло основное разложение гидратов, рисунок 2, после чего разложение замедлилось. Так, наиболее устойчивыми оказались образцы гидрата, полученные в песке с полным насыщением водой для обеих фракций. Максимальное разложение таких образцов составило около 6%.

Менее устойчивыми оказались образцы с неполным насыщением водой. Разложение составило 7 % для фракции 200-500 мкм и 13% для фракции 100-200 мкм, соответственно.

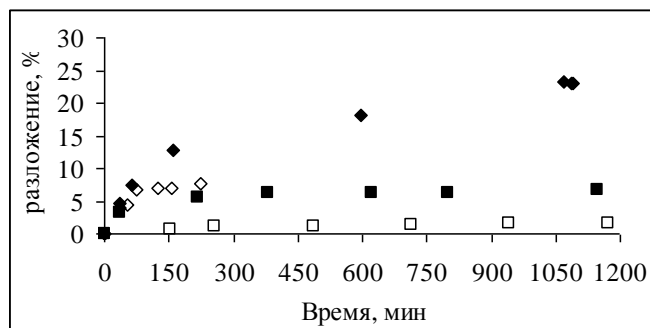


Рис. 2. Разложение гидратов в метастабильной области. □ ◇ - гидраты полученные в песке фракции 200-500 мкм с полным и неполным насыщением водой, соответственно. ■ ◆ - гидраты полученные в песке фракции 100-200 мкм с полным и неполным насыщением водой, соответственно. Степень превращения воды в гидрат составляла от 80 до 90%

Для оценки влияния давления на разложение гидратов были проведены эксперименты при давлении 1.3-1.4 МПа. Это давление находится значительно ниже давления равновесия лед-гидрат-газ, а так же ниже метастабильной области, описанной в предыдущих экспериментах.

На рисунке 3 показана степень разложения гидратов после понижения давления. Наиболее интенсивно разлагались образцы гидратов, полученные из не полностью насыщенного водой песка.

Так, гидрат, полученный в ненасыщенном песке фракции 100-200 мкм за 150 минут разложился на 20%, а фракции 200-500 мкм на 7%. Разложение насыщенных образцов за это же время не превысило 4 %.

Наибольший интерес представляет поведение гидратов при атмосферном давлении. Считается, что эффект самоконсервации лучше всего проявляется при атмосферном давлении. Кроме того хранение газа в гидратном состоянии экономически выгодно при атмосферном давлении.

На рисунке 4 представлены графики разложения гидратов при атмосферном давлении. Как видно из представленных на рисунке данных размер фракции, в

которой были получены гидраты, слабо влияет на количество разложившихся гидратов.

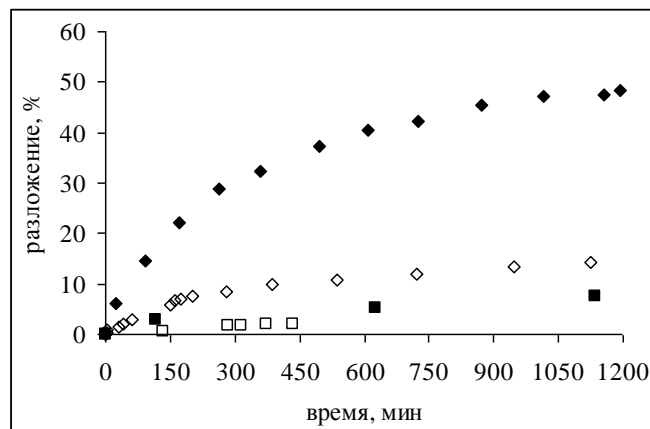


Рис. 3. Разложение гидратов при давлении 1,3-1,4 МПа. □ ◇ - гидраты полученные в песке фракции 200-500 мкм с полным и неполным насыщением водой, соответственно. ■ ◆ - гидраты полученные в песке фракции 100-200 мкм с полным и неполным насыщением водой, соответственно. Степень превращения воды в гидрат от 80 до 90%.

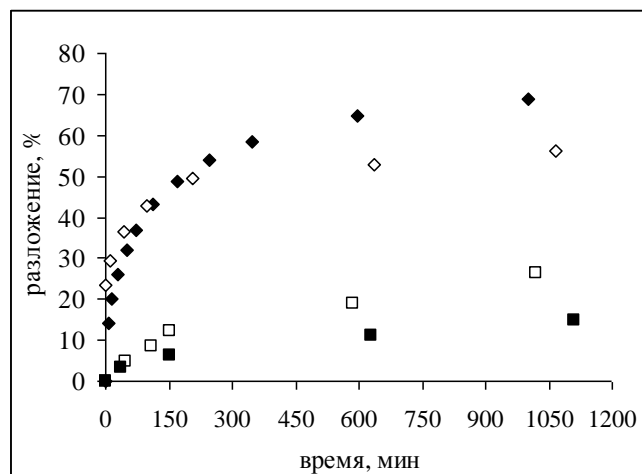


Рис. 4. Разложение гидратов при атмосферном давлении. □ ◇ - гидраты полученные в песке фракции 200-500 мкм с полным и неполным насыщением водой, соответственно. ■ ◆ - гидраты полученные в песке фракции 100-200 мкм с полным и неполным насыщением водой, соответственно. Степень превращения воды в гидрат от 80 до 90%.

При понижении давления до атмосферного наибольшее влияние оказывает количество влаги в образце. Интенсивнее разлагались гидраты, которые изначально были получены в песчаной засыпке с меньшим количеством воды. Так за 150 минут после понижения давления образцы гидратов, полученные в не полностью насыщенном водой песке, разложились на 45%, а в насыщенном песке - на 6-12%. Разложение гидратов в ненасыщенных образцах практически полностью прекратилось через 25 часов. При этом гидраты в ненасыщенных образцах содержащих фракцию песка 100-200 мкм разложились на 73 %, а в образце с фракцией 200-500 мкм – на 60%. Что касается гидратов в образцах песка насыщенных водой, то разложение практически прекратилось спустя 50 часов. Разложение

гидратов составило 30% для образцов фракции 100-200 мкм и 40% для образцов фракции 200-500 мкм (на графике не показано).

Из представленных графиков видно, что наиболее интенсивно гидраты разлагаются в течение первых двух часов. Спустя 20 часов разложение практически прекращается. Разложение гидратов в большей степени зависит от насыщенности песка водой и в меньшей степени от фракционного состава. При этом необходимо отметить, что в не полностью насыщенных образцах песка наиболее устойчивы к разложению гидраты полученные в песке фракции 200-500 мкм.

На разложение гидратов так же оказывает влияние и величина движущей силы  $\Delta p$  (разница давлений между равновесным и давлением эксперимента). Наибольшее влияние  $\Delta p$  замечено на образцы гидратов полученные в не полностью насыщенном водой песке фракции 100-200 мкм. Так, за 20 часов при  $\Delta p = 0,2$  МПа количество разложившихся гидратов составило 23%, при  $\Delta p = 2$  МПа – 73%. Более устойчивыми к изменению движущей силы  $\Delta p$  оказались гидраты полученные в полностью насыщенном водой песке. Разложение таких гидратов при  $\Delta p = 2$  МПа не превысило 30% за 20 часов.

### Выводы

Проведенные исследования показали, что гидраты, полученные в полностью насыщенном водой песке более устойчивы к разложению по сравнению с гидратами, полученными в ненасыщенном песке. Размер частиц в меньше влияет на устойчивость гидратов по сравнению с влагонасыщенностью. Показано, что движущая сила  $\Delta p$  наибольшее влияние оказывает на разложение гидратов полученных в ненасыщенном водой песке.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта президента РФ для ведущих научных школ (грант НШ 3929.2014.5).

### Литература

- Соловьев В.А. Глобальная оценка количества газа в субмаринных скоплениях газовых гидратов // Геология и геофизика. 2002. V. 43(7). С.609–624.
- Sloan, E. D. Clathrate Hydrates of Natural Gases, 2nd ed.; Marcel Dekker, Inc.: New York, 1998.
- Дучков А.Д., Соколова Л.С., Аюнов Д.Е., Пермяков М.Е. Оценка возможности захоронения углекислого газа в криолитозоне западной сибирии // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 4, с. 62–68.
- Шагапов В.Ш., Мусакаев Н.Г., Хасанов М.К. Образование газогидрата в пористом резервуаре, частично насыщенном водой, при инъекции холодного газа // Прикладная механика и техническая физика. 2008. Т. 49, №3. С. 137-150.
- Clennell, M. B.; Hovland, M.; Booth, J. S.; Henry, P.; Winters, W. J. Formation of natural gas hydrates in marine sediments 1. Conceptual model of gas hydrate growth conditioned by host sediment properties. J. Geophys. Res., [Solid Earth] 1999, 104 (B10), 22985–23003.
- Истомин В.А., Якушев В.С. Газовые гидраты в природных условиях. – М.: Недра, 1992.
- Handa Y.P., Stupin D. Thermodynamic properties and dissociation characteristics of methane and propane hydrates in 70-Å-radius silica-gel pores // J. Physical Chemistry. 1992. V.96. P. 8599-8603.
- Мельников В.П., Нестеров А.Н. Гидратообразование газов из поровой минерализованной влаги // Криосфера земли. 2001. Т. 1. С. 61- 67..
- Melnikov V.P., Nesterov A.N., Reshetnikov A.M., Zavodovsky A.G. Evidence of liquid water formation during methane hydrates dissociation below the ice point // Chemical Engineering Science. 2009. V. 64. P. 1160-1166.
- Melnikov V.P., Nesterov A.N., Reshetnikov A.M., Istomin V.A., Kwon W.G. Stability and growth of gas hydrates below the ice-hydrate-gas equilibrium line on the P-T phase diagram // Chem. Eng. Sci. 2010. V. 65.P. 906–914.



## Влияние внутренних устройств термостабилизатора на процессы теплопереноса в двухфазных системах

И.П.Рило, К.А.Желудкова, Д.А.Клещин  
ООО НПО «Фундаментстройаркос»

### Реферат

Проблема поддержания отрицательной температуры мерзлых пород для обеспечения надежности геотехнических систем в криолитозоне, является актуальной для отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Одним из направлений решения проблемы являются использование работы гравитационных сил и криогенного ресурса на основе гладкостенных термостабилизаторов, разработка современных инженерных решений и технологии строительства на вечномерзлых грунтах. В работе рассмотрено влияние внутренних устройств термостабилизатора на процессы теплопереноса в двухфазных системах. На основе полученных результатов исследовано влияние стратификации температуры в объеме и геометрии на характеристики теплопередачи. Установлено влияние материала стенок внутреннего устройства (трубки) на величину градиента и распределение температуры по длине термостабилизатора.

**Ключевые слова:** Активная термостабилизация грунтов, вечномерзлые грунты, внутреннее устройство, двухфазная система, термостабилизатор

## Influence of Thermal Stabilizer Internal Constructions on Heat Transfer Processes in Two-Phase Systems

I.P.Rilo, K.A.Zheludkova, D.A.Kleschin  
LLC SPA «FundamentStroyArkos»

### Abstract

The maintenance problem of negative temperature in frozen rocks for ensuring reliability of geotechnical systems in the cryolithic zone, is actual for industries of housing and communal services. One of the directions of solution are use of gravity forces works and cryogenic resource on the smooth-bore thermal stabilizers basis, development of modern engineering decisions and technology of building on permafrost soils. At thesis is considered influence of internal construction of the thermal stabilizer on heat transfer processes in two-phase systems. On the basis of the received results influence of temperature stratification in the volume and geometry on heat transfer characteristics is investigated. Influence of walls material of the internal construction (tube) on the size of gradient and temperature distribution longwise the thermal stabilizer is established.

**Key Words:** Active thermal stabilization of soil, permafrost soils, internal construction, two-phase system, thermal stabilizer.

### Введение

Одним из наиболее применяемых и эффективных методов инженерной защиты несущей способности фундаментов зданий и сооружений в криолитозоне является технология и технические средства активной термостабилизации грунтов оснований. Принятие оптимальных проектно-технических решений, а также методика оценки эффективности применения данной технологии и технических устройств не в полной мере отражены в современной научно-технической и нормативной литературе.

Технические решения компании ООО НПО «Фундаментстройаркос» (ФСА) в виде унифицированных сезонных охлаждающих устройств (СОУ) с различной единичной мощностью имеют наибольшее значение при новом строительстве, поскольку предназначены для замораживания и температурной стабилизации грунтов основания в определенном температурном диапазоне с прогнозом состояния объектов на среднесрочную

перспективу. Применяемый компанией системный подход в процессе фундаментостроения в единой цепи: научные исследования – практические разработки – проектирование – строительство – передача в эксплуатацию, позволяет обеспечивать надежность и долговечность объектов и экономит затраты. При этом соблюдается качество природно-технических геосистем – оснований, фундаментов, инженерных сооружений и природных объектов. При проведении исследований учитывались особенности процессов переноса в двухфазных системах, которые имеют место в термостабилизаторах (ТС) различных конструкций. Характер двухфазных систем в значительной мере определяется воздействием гравитационных сил на формирование соответствующего распределения паровой и жидкой фаз на различных участках термостабилизатора. Влияет на двухфазную систему также: степень заполнения внутренней полости термостабилизатора хладагентом, влияющая на циркуляцию хладагента, род хладагента, геометрические

размеры термостабилизатора и его расположение в пространстве, наличие внутренних устройств, соотношение условий подвода и отвода теплоты к термостабилизатору [Безродный и др. 2005].

Необходимым условием работы термостабилизатора является такое соотношение условий подвода и отвода теплоты, которое обеспечивает для определенного хладагента термодинамическое состояние системы, соответствующее двухфазной области состояния вещества. Практически исследовались системы с поверхностью раздела фаз и разделяющимися холодными и нагретыми потоками жидкости в сечении термостабилизатора. Основные особенности процессов переноса в таких системах по сравнению с процессами переноса в подобных известных канонических системах заключаются: во взаимном влиянии этих систем, определяемом замкнутостью внутренней полости термостабилизатора; во взаимном влиянии геометрических параметров и физических свойств рабочих жидкостей; в стесненном характере условий для развития процессов парообразования и гидродинамики течения фаз; в специфике формирования двухфазной системы [Hiebez & Gebhart 1971]. Наличие указанных особенностей требует соответствующей постановки исследований и изучения процессов тепломассопереноса как в отдельных вышеуказанных двухфазных системах, выделяя их как самостоятельные объекты исследования, так и в условиях их совместного существования в полости термостабилизатора.

### Методика проведения эксперимента

Исследование вертикально установленного термостабилизатора проводилось на испытательном стенде (рис. 1).

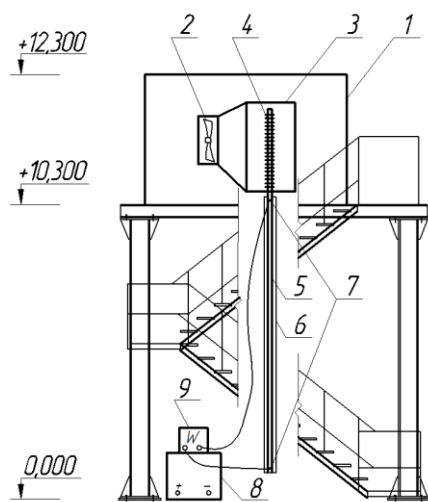


Рис. 1. Схема испытательного стенда:

1 – холодильная камера; 2 – вентилятор, 3 – диффузор; 4 – конденсатор; 5 – испаритель; 6 – теплоизоляция; 7 – клемма; 8 – ВДУ; 9 – ваттметр

Стенд оборудован: холодильной камерой 1, с вентилятором 2 и диффузором 3, предназначенными для обдува конденсатора 4 воздушным потоком с регулируемой скоростью 1-5 м/с и поддержанием

заданной температуры в камере в диапазоне от 0 °С до минус 30 °С. На оребрении конденсатора установлены два датчика температуры ТСП (Тниз и Тверх) на расстоянии 1 м друг от друга. Показания датчиков фиксировали на компьютере с частотой одно измерение в 10 секунд. Нагрузку термостабилизатора регулировали преобразователем ВДУ (выпрямитель дуговой универсальный) и измеряли ваттметром. Испаритель теплоизолировали «Термофлекс»ом, теплотери не превышали 2 %. По длине испарителя равномерно расположены датчики температуры через каждые 2 м.

Метрологические характеристики датчиков температуры представлены в таблице (табл.1).

Таблица 1. Метрологические характеристики датчиков

Датчик	Тип датчика	Место установки	Характеристика
T1, T2, T3, T4, T5, T6	ЦДТ 1004-7	Испаритель	Цифровой датчик температуры. Погрешность измерений – $\pm 0,3$ °С.
Тверх, Тниз	ТСП 9204	Оребрение	Погрешность измерений – $\pm 0,3$ °С.
Ткам	ТТМ-2/4-06-4Р-2А	Холодильная камера	Погрешность измерений температуры – $\pm 0,1$ °С, скорости воздуха – $\pm 0,05$ м/с

Проведены исследования протекающих процессов в трех термостабилизаторах (ТС1, ТС2, ТС3) различной конструкции: общая длина термостабилизатора - 12 м, длина испарителя – 10 м, длина конденсатора – 1,2 м, диаметр оребрения конденсатора – 67 мм, диаметр испарителя – 33,7х3,5мм. Термостабилизаторы изготовлены из стали 09Г2С, оребрение конденсатора из алюминия марки АД1. Внутреннее устройство испарителя: ТС1 - без трубки; ТС2 - с внутренней стальной трубкой диаметром 18х1мм; ТС3 – с внутренней полиэтиленовой трубкой диаметром 20х2 мм. Трубки длиной 9 м снизу перфорированы отверстиями со смещением по окружности (6 шт., диаметром 10мм) каждые 100 мм (рис. 2).

Термостабилизаторы заправлены аммиаком до уровня 10 м (при  $t = 15$  °С) со степенью заполнения хладагентом  $\epsilon = 0,85$  (отношение объема заполненного жидким аммиаком к общему объему термостабилизатора).

### Результаты испытаний

При проведении исследования особый интерес представлял процесс течения хладагента по локально организованным полостям, ограниченными стенками внутреннего устройства (трубки) и термостабилизатора, обусловленный гидростатической подъемной силой, которая возникает под действием разности плотностей по причине неоднородности температуры и под действием гравитационного поля (рис. 3).

Существует много разных видов течений, вызванных гидростатической подъемной силой, что обусловлено как



отдельными эффектами, так и их комбинациями, а также разнообразием геометрических конфигураций. Почти все такие явления имеют общие черты, и они сильно отличаются от процессов переноса, обусловленных обычными видами приложения силы.

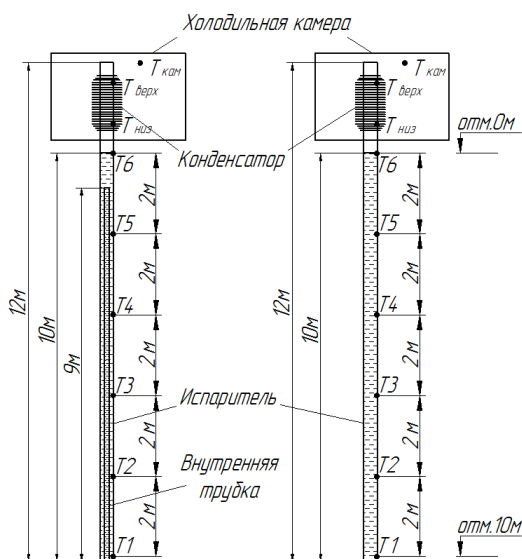


Рис. 2. Внутреннее устройство термостабилизатора и расположение датчиков температуры:

T1÷ T6 – датчики температуры по длине испарителя; Tниз, Tверх – датчики температуры на оребрении конденсатора; Tкам – датчик температуры в холодильной камере

Характерное отличие состоит в том, что заранее очень мало известно о результирующем течении, возникающем под действием гидростатической подъемной силы. Поля течения и температуры всегда тесно связаны друг с другом, и их необходимо рассматривать совместно, а сами течения являются сравнительно слабыми. Это значит, что скорости достаточно малые, а инерционные и вязкие эффекты обычно величины одного и того же порядка.

В процессе стендовых испытаний поддерживали одинаковые внешние условия: электрическую нагрузку на испаритель, температуру в холодильной камере, скорость обдува конденсаторной части термостабилизатора 5 м/с. В данной работе проведено исследование термостабилизаторов на четырех режимах. Результаты испытаний представлены графиками (рис. 3).

При этом естественная конвекция в ограниченных пространствах функционально связана с их температурой и конфигурацией. Гидродинамика структуры линий тока в замкнутых контурах определяется их геометрическими размерами, формой.

Если характерный размер контура ограниченного пространства велик, то конвективные потоки не взаимодействуют между собой, они идентичны структурам у поверхностей в неограниченном пространстве, если мал — возникают циркуляционные контуры, высота которых зависит также от теплофизических характеристик среды [Thirlby 1970]. Теплообмен при различных способах расположения и геометрии внутренних устройств термостабилизатора,

произвольно расположенных в пространстве, характеризуется числами Нуссельта, являющимися функциями чисел Рэлея, Прандтля, граничных и начальных условий.

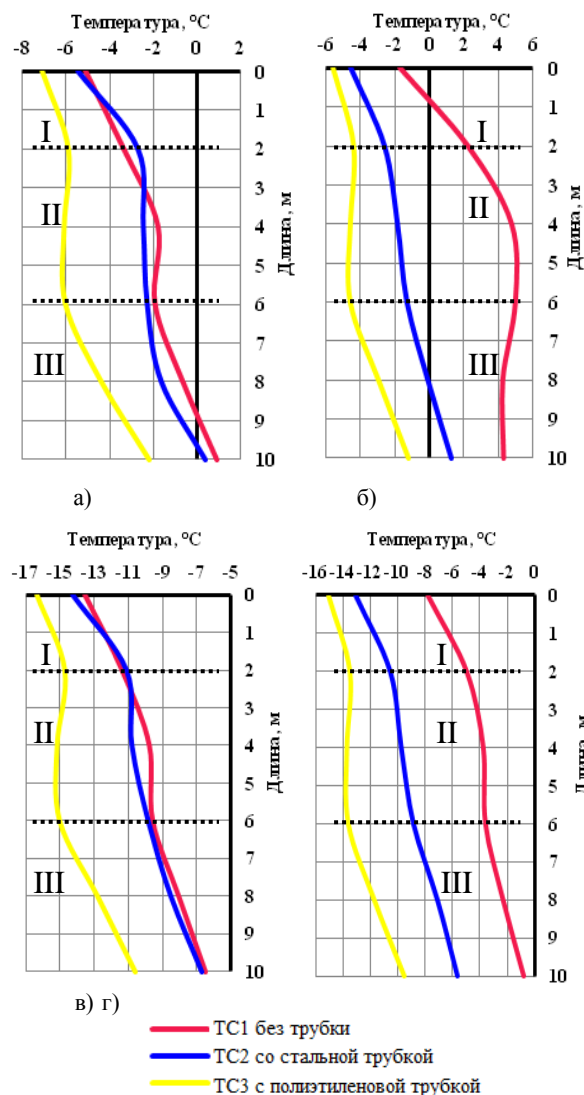


Рис.3. Распределение температур по испарителю в зависимости от температуры в холодильной камере, скорости воздуха и нагрузки:

- а) Tкам= -10 °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 10 Вт/м;
- б) Tкам= -10 °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 20 Вт/м;
- в) Tкам= -20 °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 10 Вт/м;
- г) Tкам= -20 °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 20 Вт/м;

Так как коэффициенты теплопроводности хладагента ( $\lambda$ ) в широком диапазоне температур соответственно меняются, то возникают жидкостные циркуляционные контуры, которые определяют условно три зоны течений (I, II, III, рис. 3), с соответствующими градиентами температуры  $gradt$ , служащие управляющим параметром самоорганизации контуров циркуляции (рис.3, табл. 2) и наблюдаемым ходом кривых.

Вследствие подогрева в первоначально однородном слое жидкости начинается диффузия из-за возникшей неоднородности плотности. При преодолении некоторого критического значения градиента, диффузия не успевает

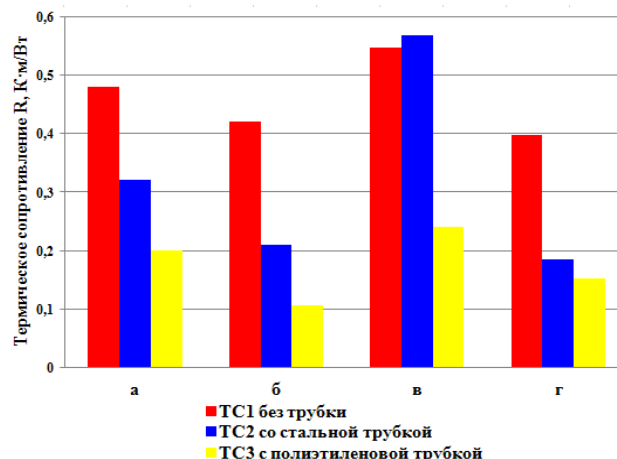
привести к однородному распределению температуры по объёму. Возникают цилиндрические валы, вращающиеся навстречу друг другу. При увеличении градиента температуры возникает второй критический переход. Для ускорения диффузии каждый вал распадается на два вала меньшего размера. При дальнейшем увеличении управляющего параметра валы дробятся, и в пределе возникает турбулентный хаос. Как следует из рис.3 и табл.2 наблюдаются три зоны (I – до 2м, II – от 2м до 6м, III – от 6м до 10м) градиентов температур  $gradt$  по длине испарителя (ТС1, ТС2, ТС3), существенно отличающихся своими величинами и свидетельствующие о трех разных механизмах теплообмена на трех участках зависимостей температуры от длины испарителя. Особенно это характерно для пространства ограниченного стенками испарителя и полиэтиленовой трубки в виду низкого коэффициента теплопроводности  $\lambda$  полиэтилена и определенной величины межкольцевого зазора. Во II зоне значения  $gradt$  близки к нулю.

Таблица 2. Градиенты температур на стенках испарителей

Термостабилизатор	Нагрузка, Вт/м	Температура в холодильной камере, °С	Градиент температуры, °С/м
ТС1	10	-10	0,61
ТС2			0,58
ТС3			0,49
ТС1	20	-10	0,60
ТС2			0,59
ТС3			0,44
ТС1	10	-20	0,70
ТС2			0,76
ТС3			0,57
ТС1	20	-20	0,70
ТС2			0,74
ТС3			0,56

Основным критерием эффективной работы термостабилизаторов является низкое эквивалентное термическое сопротивление  $R$  при максимальной передаваемой мощности  $Q_{max}$ . Величина  $R$  зависит от интенсивности теплоотдачи в зонах испарения и конденсации. Основной вклад при этом вносит зона испарения, где происходит переход теплоносителя из жидкой в паровую фазу. Процесс пузырькового кипения отличается высокими коэффициентами теплоотдачи. Однако с изменением внутреннего диаметра термостабилизаторов, условия парообразования не могут быть одинаковыми. Степень заполнения термостабилизатора теплоносителем также влияет на интенсивность теплоотдачи в зоне испарения. При этом если учитывать периодические выбросы теплоносителя в зону конденсации, то коэффициенты теплоотдачи соответственно будут изменяться во времени. В связи с этим определение интенсивности теплоотдачи в зонах теплообмена термостабилизаторов является важной задачей для расчета их теплопередающих характеристик. На диаграмме (рис.4) показано влияние разных факторов (материала трубки, передаваемой мощности,

температуры воздуха обдуваемого конденсатор) на термическое сопротивление  $R$ , его значение наименьшее в случае применения полиэтиленовой трубки.

Рис.4. Зависимость  $R$  от наличия и материала внутреннего устройства, передаваемой мощности и температуры воздуха обдуваемого конденсатор:

- а)  $T_{кам} = -10$  °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 10 Вт/м;  
 б)  $T_{кам} = -10$  °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 20 Вт/м;  
 в)  $T_{кам} = -20$  °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 10 Вт/м;  
 г)  $T_{кам} = -20$  °С, скорость воздуха 5 м/с, нагрузка 20 Вт/м.

Таким образом, описана физическая картина явлений, обусловленных конвекцией. Конвекция использована, в данном случае, для изучения формирования структур в пространственно протяженных системах (термостабилизаторах грунтов) и поведения этих систем, спонтанного возникновения пространственной упорядоченности и реализуемости форм и масштабов оптимальных течений. Экспериментами выявлена тенденция к возникновению ясно выраженной пространственной структуры конвективного течения. С другой стороны, общая геометрия течения может подавлять указанную тенденцию. Оптимальные форма и размер могут быть обнаружены в структуре течения лишь как усредненные характеристики.

Представлены распределения температуры по стенке испарителя, отражающие влияние внутреннего устройства на теплоперенос в замкнутом двухфазном термостабилизаторе. Установлено, что снижение теплопроводности материала стенки устройства наряду с его наличием обуславливает соответствующее понижение температуры стенки испарителя.

## Литература

- Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О., 2005, Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика.-2 издание, дополненное и переработанное. – Киев: Факт, 2005 – 704 с.: илл.  
 Hieber C.A., Gebhart B., 1971, Stability of vertical natural convection boundary layers: some numerical solutions, J. Fluid Mech., 1971, 48, № 4, 625.  
 Thirlby R., 1970, Convection in an internally heated layer, J. Fluid Mech., 1970, 44, № 4, 673.

## Микроволновое излучение сезонно-мерзлых почв на юге Западной Сибири

А.Н.Романов, И.В.Хвостов  
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

### Реферат

Исследовано поведение радиоизлучательных характеристик мерзлых почв в микроволновом диапазоне при вариациях влажности, гранулометрического состава, глубины промерзания. Установлены зависимости радиоярких характеристик мерзлой почвы от объемной влажности, процентного содержания физической глины, глубины промерзания почвенного покрова. Разработана методика определения глубины промерзания по данным измерений радиоизлучения почвенного покрова.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь; микроволновое излучение; мерзлые почвы

## Microwave Emission of Seasonally Frozen Soils in the South of Western Siberia

A.N.Romanov, I.V.Khvostov  
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

### Abstract

The behavior of the emission characteristics of frozen soil in the microwave range while variations of moisture, particle size distribution, depth of freezing were investigated. Depending brightness characteristics of frozen soil on the volume of moisture, the percentage of physical clay, the freezing depth of soil cover installed. Method of determining the depth of freezing by measurements of the radio emission of soil developed.

**Key Words:** frozen soil; microwaves; Western Siberia.

### Введение

Одной из важных задач дистанционного зондирования подстилающей поверхности Земли является изучение процессов промерзания и оттаивания почвы. Исследования в данном направлении ведутся в течение 30 последних лет и к настоящему времени не потеряли актуальности. Для картирования зон оттаивания мерзлой почвы разработаны алгоритмы интерпретации спутниковых данных, основанные на различии радиоярких температур мерзлой и незамерзшей почв [Zuerndorfer 1990; Wegmuller 1991; Rautiainen 2014]. Различие диэлектрических свойств мерзлых и незамерзших почв послужило основой для разработки метода обнаружения таликов [Song Lei 2009].

По результатам спутниковых измерений установлена пространственно-временная изменчивость циклов замерзания-оттаивания [Rignot 1994; Bartsch 2007]. Проведена оценка изменений временных трендов начала замерзания и оттаивания поверхностного слоя почвы на территории Китая и Монголии [Han 2010; Jin 2009].

Для дистанционной диагностики параметров состояния сезонно-мерзлых почв и вечной мерзлоты, а также процессов их таяния под влиянием сезонных и климатических изменений субарктических районов использованы данные съемки 1978-1999 гг. территории с вечной мерзлотой (полуостров Ямал) и сезонно-мерзлые почвы в северной части Западной Сибири [Melentyev 2005].

В данной работе оценено влияние объемной влажности, процентного содержания физической глины, глубины промерзания на радиоизлучательные свойства мерзлых почв в микроволновом диапазоне.

### Методика эксперимента

Дистанционные измерения радиоярких температур ( $T_B$ ) модельных почвогрунтов проводились в лабораторных условиях на длине волны 2.25 см. В натурных условиях радиояркие температуры почвенного покрова с мерзлым верхним слоем измерялись на длинах волн 18 и 50 см с борта самолета АН-2 при высоте полета 50-100 м. Коэффициент излучения  $\chi$  мерзлой почвы рассчитывался по известной формуле [Шарков 2014]:

$$T_B = \chi T,$$

где  $T$  – термодинамическая температура мерзлой почвы.

Контактным способом измерялись объемная влажность ( $W$ ) и температура ( $t$ ) мерзлой почвы, процентное содержание физической глины ( $G$ ), засоленность ( $Z$ ). Глубина промерзания определялась прямым измерением в скважинах, пробуренных с помощью бура или по данным метеорологических станций (при толщине мерзлого слоя, большей 0.5 м). Наземные измерения проводились в одной-двух точках на каждом тестовом участке. Размеры тестовых участков составляли в длину не менее 300 метров, в ширину не менее 50 метров.

Во время дистанционных измерений гидрофизические характеристики почвы на разных тестовых участках,

определенные контактным способом, изменялись следующим образом: термодинамическая температура на верхней границе мерзлого слоя изменялась в пределах  $t = -15 \dots -4^\circ\text{C}$ , объемная влажность талой почвы  $W = 0.19 \div 0.33 \text{ г/см}^3$ , объемная влажность мерзлой почвы  $W = 0.28 \div 0.40 \text{ г/см}^3$ , глубина промерзания  $d_M = 20 \div 210 \text{ см}$ .

При дистанционных измерениях радиоярких параметров почвы  $\chi$  использовался метод относительной калибровки по природным объектам с известными радиояркими характеристиками (открытая водная поверхность, густой хвойный лес), либо по эталону абсолютно-черного тела, в качестве которого использовался радиопоглощающий материал.

При обработке результатов дистанционного зондирования производился отбор экспериментальных точек, соответствовавших участкам с толщиной мерзлого слоя  $d_M > l_3$ , где  $l_3$  – толщина скин-слоя в мерзлой почве. В этом случае можно пренебречь влиянием незамерзшей почвы, лежащей под мерзлым слоем. Величина  $l_3$  оценивалась, исходя из объемной влажности мерзлой почвы, определенной термостатно-весовым способом, и температуры, измеренной ртутным термометром с использованием значений комплексной диэлектрической проницаемости мерзлых почв, измеренных в лабораторных условиях.

## Результаты исследований

### А. Влияние объемной влажности

Наблюдаемое заметное различие радиоярких характеристик мерзлой и незамерзшей почв объясняется тем, что при понижении температуры незасоленной почвы ниже  $0^\circ\text{C}$  свободная вода, присутствующая в почве в жидком виде, изменяет свое агрегатное состояние, обращаясь в лед. Диэлектрические характеристики льда и воды резко различаются.

Влияние  $W$  на коэффициент излучения  $\chi$  мерзлой почвы исследовалось на длине волны 2.25 см при температуре почвы  $-6^\circ\text{C}$ . Установленные в результате экспериментальных исследований зависимости  $\chi(W)$  в диапазоне  $W = 0.06 \div 0.15$  имеют следующий вид:

$$\chi = (1.02 \pm 0.03) - (1.8 \pm 0.3)W.$$

### Б. Влияние гранулометрического состава

Зависимость радиояркого контраста мерзлой почвы  $\Delta\chi = \chi(G=0) - \chi(G)$  от процентного содержания физической глины  $G$  исследовалась на длине волны 2.25 см для модельных почвогрунтов с  $t = -5 \div -3^\circ\text{C}$ , приготовленных путем смешивания крупнозернистого песка и бентонитовой глины.

На рис. 1 приведена зависимость  $\Delta\chi(G)$ , имеющая следующий вид:

$$\Delta\chi = (0.006 \pm 0.001)G - (7 \pm 4)10^{-5}G^2 + (3 \pm 2)10^{-7}G^3.$$

Как видно из графика, наблюдается нелинейное возрастание радиояркого контраста с увеличением

процентного содержания физической глины в почвенном образце. Величина  $(\partial\chi/\partial G)$ , характеризующая чувствительность коэффициента излучения мерзлой почвы к изменению гранулометрического состава, составляет 0.002/1%, что при современном развитии измерительной микроволновой аппаратуры позволяет классифицировать почвы по гранулометрическому составу, согласно классификации Н.А. Качинского.

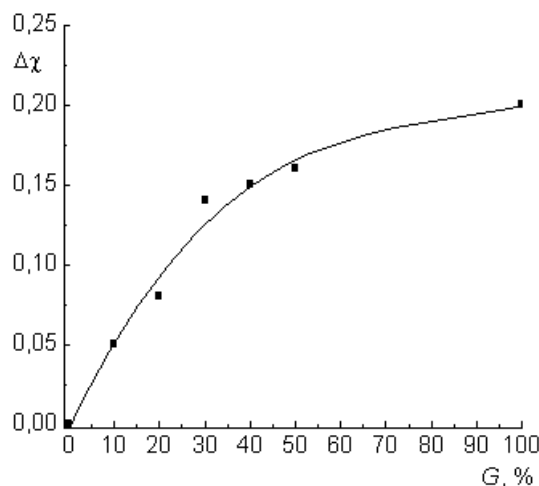


Рис. 1. Зависимость радиояркого контраста мерзлой почвы от процентного содержания физической глины на длине волны 2.25 см.

### В. Влияние термодинамической температуры

На рис. 2. приведены температурные зависимости коэффициента излучения почв с разной влажностью. Видно, что термодинамическая температура почвы оказывает значительное влияние на радиоизлучательные характеристики почвы в диапазоне температур, соответствующих фазовым переходам.

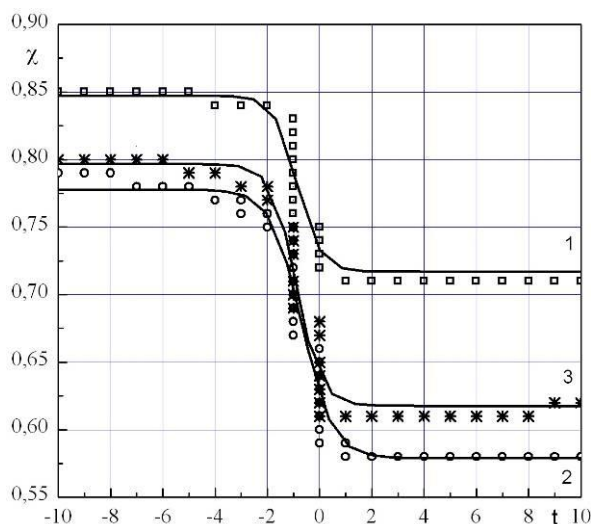


Рис. 2. Зависимость коэффициента излучения почв с объемной влажностью  $W=0.31$  (1),  $0.39$  (2),  $0.34$  (3) от термодинамической температуры на длине волны 21 см.

### Г. Влияние глубины промерзания

Микроволновое излучение почвы с мерзлым верхним слоем складывается из частей, соответствующих прямому радиоизлучению мерзлой почвы, обратному радиоизлучению мерзлой почвы, отраженному от слоя не замерзшей почвы и радиоизлучению не замерзшей почвы, прошедшему через слой мерзлой почвы, а также их многократных переотражений, возникающих на верхней и нижней границах слоя мерзлой почвы.

Результаты дистанционных измерений радиоярких характеристик почвенного покрова, сопоставленные с определенными контактными способом глубиной промерзания, влажностью талой и полной влажностью мерзлой почвы, показали, что при глубине промерзания  $d_M < l_3$ , мерзлая почва играет роль ослабляющего слоя и радиоизлучательные свойства почвенного покрова в этом случае зависят от состояния незамерзшей почвы, в первую очередь, от ее влажности.

Экспериментальные исследования влияния глубины промерзания на радиоизлучение почвенного покрова проводились в зоне оподзоленных и выщелоченных черноземов, темно-серых и серых лесных почв. По гранулометрическому составу преобладали тяжелосуглинистые почвы с объемным содержанием связанной воды 24%.

На момент измерений температура почвы на глубине 5 см варьировала в пределах от  $-11$  до  $-3^\circ\text{C}$ ; температура на границе снег-воздух изменялась в пределах от  $-19$  до  $-8^\circ\text{C}$ ; высота снежного покрова – от 25 до 40 см. Измерения температуры и высоты снежного покрова проводились с целью контролирования процессов снеготаяния в период проведения дистанционных измерений. Суммарное влагосодержание верхнего слоя мерзлой почвы, включающее в себя доли воды, находящейся в почве в жидком и твердом состояниях, изменялось от 0.28 до 0.44. Подобные высокие значения влагосодержания мерзлой почвы объясняются образованием переувлажненного слоя на границе промерзания, за счет подтягивания воды из нижележащих горизонтов.

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента излучения  $\chi$  почвенного покрова с верхним мерзлым слоем на длине волны 18 см от глубины промерзания  $d_M$ , интерполированная соотношением

$$\chi = (0.89 \pm 0.01) - (0.08 \pm 0.01) \cdot \exp\left(-\frac{d-25}{3.26}\right).$$

Из рис. 3 видно, что величина  $\chi$  возрастает с увеличением глубины промерзания неодинаково в разных интервалах  $d_M$ . На рис. 4. приведена зависимость коэффициента излучения от толщины мерзлого слоя, измеренная на длине волны 50 см и имеющая вид

$$\chi = (0.55 \pm 0.08) + (0.002 \pm 0.001)d_M + (5 \pm 4)10^{-6}d_M^2$$

При наличии априорной информации о влажности и температуре поверхностного слоя почвы, возможно использование приведенных соотношений для оценки

глубины промерзания почвенного покрова по данным микроволнового зондирования. При этом использование длинноволновой части микроволнового диапазона для дистанционного определения толщины мерзлого слоя почвы является более выгодным, так как в этом случае значительно увеличивается глубина зондирования, что видно из сравнения зависимостей  $\chi(d_M)$ , приведенных на рисунках 3 и 4.

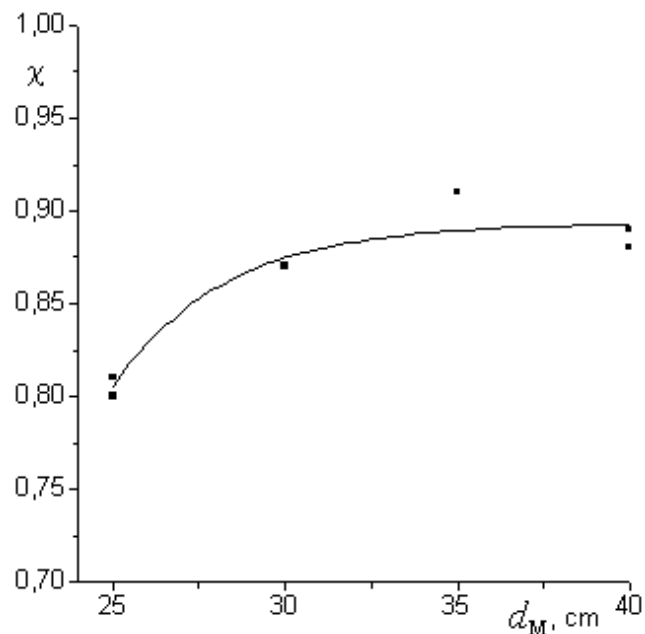


Рис. 3. Зависимость коэффициента излучения почвенного покрова от толщины мерзлого верхнего слоя на длине волны 18 см.

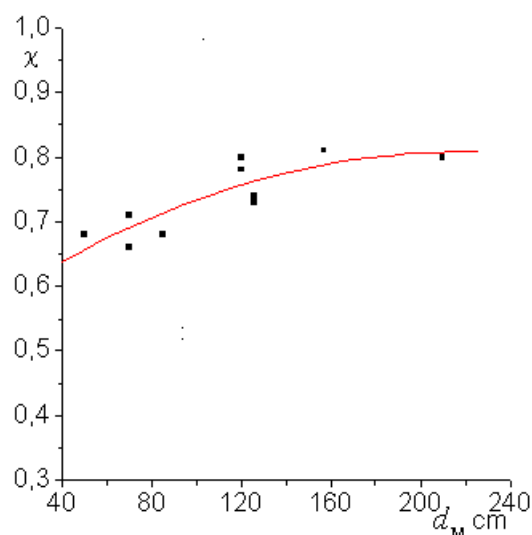


Рис. 4. Зависимость коэффициента излучения почвенного покрова от толщины мерзлого верхнего слоя на длине волны 50 см

## Заключение

В результате проведенных исследований показано, что радиоизлучательные характеристики сезонно-мерзлых почв в микроволновом диапазоне в значительной мере зависят от соотношения между глубиной промерзания почвы и скин-слоем, толщина которого зависит от длины волны и диэлектрических свойств мерзлой почвы.

При глубине промерзания, большей скин-слоя, микроволновое излучение мерзлой почвы зависит от содержания незамерзшей воды в мерзлой почве, которое в свою очередь определяется процентным содержанием физической глины и термодинамической температурой.

При глубине промерзания, меньшей скин-слоя, микроволновое излучение почвенного покрова с верхним мерзлым слоем зависит от процентного содержания физической глины, а также от объемной влажности незамерзшей почвы.

Глубина сезонного промерзания почвы может быть определена дистанционным способом по радиоизлучательным характеристикам почвенного покрова, измеренным в диапазоне дециметровых волн.

## Благодарности

Экспериментальные исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-05-05018 «Разработка микроволновых методов космического мониторинга вечномерзлых и сезонно-мерзлых почв и апробация в условиях Западной Сибири».

## Литература

- Шарков Е.А. Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы. Т.1. – М.: ИКИ РАН, 2014. 544 с.
- Bartsch, A., Kidd, R.A., Wagner, W. & Bartalis, Z. Temporal and spatial variability of the beginning and end of daily

- spring freeze/thaw cycles derived from scatterometer data// Remote Sensing of Environment. V.106. Issue 3, 2007, 360-374.
- Han, L., Tsunekawa, A. & Tsubo, M. 2010. Monitoring near-surface soil freeze–thaw cycles in northern China and Mongolia from 1998 to 2007 //International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. Issue 12, pp. 375-384.
- Jin, R., Li, X. & Che, T. A decision tree algorithm for surface soil freeze/thaw classification over China using SSM/I brightness temperature//Remote Sensing of Environment. V.113. Issue 12, pp. 2651-2660.
- Melentyev, V.V., Johannessen, O.M. & Bobylev L.P. Siberian permafrost and seasonally frozen grounds: parameters retrieval using microwave satellite data // Исследование Земли из космоса. 2005. № 5. С. 3-9.
- Rautiainen, K. Lemmetyinen, J. & Schwank, M. Detection of soil freezing from L-band passive microwave observations //Remote Sensing of Environment V.147, 2014, pp. 206-218.
- Rignot E. & Way, J.B. Monitoring freeze—thaw cycles along North-South Alaskan transects using ERS-1 SAR //Remote Sensing of Environment. V.49, Issue 2, 1994, pp. 131-137.
- Song Lei, Zhang Xiao-jun & Li Hai-peng. Dielectric constants of deep frozen clay soils of Longgu mine (0.1-1GHz)//Procedia Earth and Planetary Science. V.1. Issue 1, 2009, pp. 519-523.
- Wegmuller, U. The Effect of Freezing of Thawing on the Microwave Signatures of Bar Soil //Remote Sensing of Environment. V.33. Issue 26, 1991, pp. 123-137.
- Zuerndorfer, B.W., England, A.W., Dobson, M.C. & Ulaby, F.T. Mapping freeze/thaw boundaries with SMMR data //Agricultural and Forest Meteorology. V.52. Issue 1-2, 1990, pp. 199-225.



## Changes in Permafrost in Alaska During the Last 30 Years

V.E.Romanovsky

*Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK, USA*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

In this paper we report changes in permafrost temperatures during the last 30 years in Alaska. Most of the research sites of our network are located along an Alaskan Permafrost-Ecological Transect. This transect spans all permafrost zones in Alaska. Most of the sites in Alaska show substantial warming of permafrost since the 1980s. The magnitude of warming has varied with location, but was typically from 0.5 to 3°C. However, this warming was not linear in time and not spatially uniform. While permafrost warming was more or less continues on the North Slope of Alaska with a rate between 0.2 to 0.5°C per decade, permafrost temperatures in the Alaskan Interior started to experience a slight cooling in the 2000s that have continued during the first half of the 2010s. The observed climate warming triggered permafrost degradation in Alaska, especially in the north and at the locations which were affected by human activities.

**Key words:** Alaska; climate warming; GTN-P; monitoring; permafrost temperature.

## Изменения многолетней мерзлоты на Аляске за последние 30 лет

В.Е.Романовский

*Геофизический институт Университета Аляски, Фербенкс, АК, США*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Представлены данные об изменении температуры многолетней мерзлоты на Аляске за последние 30 лет. Большинство участков нашей наблюдательной сети располагаются вдоль Аляскинского Мерзлотно-Экологического Транссекта. Транссект пересекает все мерзлотные зоны Аляски. На большинстве участков с 1980-х годов наблюдается постепенное потепление многолетнемерзлых горных пород. Величина потепления зависит от местоположения участка, но обычно составляет 0,5...3°C. Тем не менее это потепление не линейно во времени и неодинаково по пространству. В то время как на Северном Склоне Аляски потепление было более или менее равномерным с градиентом 0,2...0,5 °C/10 лет, то во Внутренней Аляске с начала 2000-х годов началось слабое понижение температуры грунтов, которое продолжилось и в первой половине 2010-х. Наблюдаемое потепление климата активизировало деградацию мерзлоты на Аляске, особенно на севере и в местах антропогенеза.

**Ключевые слова:** Аляска, потепление климата, международная наблюдательная сеть – мерзлота (GTN-P); Мониторинг температуры многолетнемерзлых пород.

## Introduction

The impact of climate warming on permafrost and the potential of climate feedbacks resulting from permafrost thawing have recently received a great deal of attention [Schaefer et al. 2012 and 2014; Schuur et al. 2015]. Ground temperatures are a primary indicator of permafrost stability. The monitoring network of the Thermal State of Permafrost (TSP) program was established during the Fourth International Polar Year. In Alaska, two major permafrost temperature measurement networks exist. One of them is operated by the U. S. Geological Survey predominantly within the North Slope of Alaska [Clow & Urban 2003]. The second network was established in the late-1970s and early-1980 by Professor Emeritus T. E. Osterkamp and has been supported since then by the Permafrost group at the Geophysical Institute University of Alaska Fairbanks [Osterkamp 2003b and 2008; Romanovsky et al. 2002, 2003 and 2014]. Most of the research sites of this network are

located along an Alaskan Permafrost-Ecological Transect [McGuire et al. 2002; Walker et al. 2008]. This transect spans all permafrost zones in Alaska from the southern limits of permafrost near Glennallen to the Arctic coast in the Prudhoe Bay region. In this paper, the results of more than 30 years of the permafrost and active layer temperature observations along this transect will be presented.

## Methods

Permafrost temperatures define the thermal state of permafrost and were obtained by lowering a calibrated thermistor into a borehole, or recording temperature from multi-sensor cables permanently or temporarily installed in the borehole [GTN-P 2012]. Some measurements were performed manually with a portable temperature logging system other by data loggers. The accuracy and resolution of the thermistors and measurements in these studies were at  $\pm 0.02^\circ\text{C}$  or better. The depth of boreholes varies from less than 10 m to greater than 100 m. At many sites data loggers

were utilized for daily measurement of shallow temperatures to reduce the number of site visits and to provide a continuous record of ground temperatures.

Current results are based in part on data collected in boreholes that were drilled from the late 1970s to the late 1980s throughout the permafrost regions of Alaska [Osterkamp 2003a, 2003b]. New permafrost observatories were established in the 2000s at Imnaviat Creek, Toolik Lake, Bonanza Creek, Barrow, Gakona and other locations in Alaska.

### Results

At most Alaskan permafrost observatories there was substantial warming during the 1980s and especially in the 1990s (Fig. 1). The magnitude and nature of the warming varies spatially, but was typically from 0.5°C to 2°C at the depth of zero seasonal temperature variations over this 20 year period [Osterkamp 2008]. However, during the 2000s, permafrost temperature has been relatively stable on the North Slope of Alaska [Romanovsky et al. 2011; Smith et al. 2010; Shiklomanov et al. 2010] (Fig. 1b), with even a slight decrease (ranging from 0.1°C to 0.3°C) in Interior Alaska during the last seven years (Fig. 1c).

The latest data may indicate that the coastal warming trend has propagated southward towards the northern foothills of the Brooks Range, where a noticeable warming in the upper 20 m of permafrost has become evident since 2008. In 2014, new record high temperatures at 20 m depth were measured at all permafrost observatories on the North Slope of Alaska (hereafter North Slope) except for the Happy Valley site (Figs. 1a, 1b). Changes in permafrost temperatures at 20 m depth typically lag about one year behind the changes in surface temperatures. The summer of 2013 was particularly warm on the North Slope and thus contributed to the 20 m temperature increase. The increase in 2014 was substantial; 20 m temperatures in 2014 were 0.07°C higher than in 2013 at West Dock and Deadhorse, and 0.06°C higher at Franklin Bluffs (Fig. 1b) on the North Slope. A 0.09°C increase was observed at Galbraith Lake (Fig. 1b) in the northern foothills of the Brooks Range. Permafrost temperature in 2014 at Happy Valley was 0.03°C higher than in 2013, but still 0.03°C lower than its maximum in 2012. Temperature at 20 m depth has increased between 0.18 and 0.56°C per decade since 2000 on the North Slope (Fig. 1b).

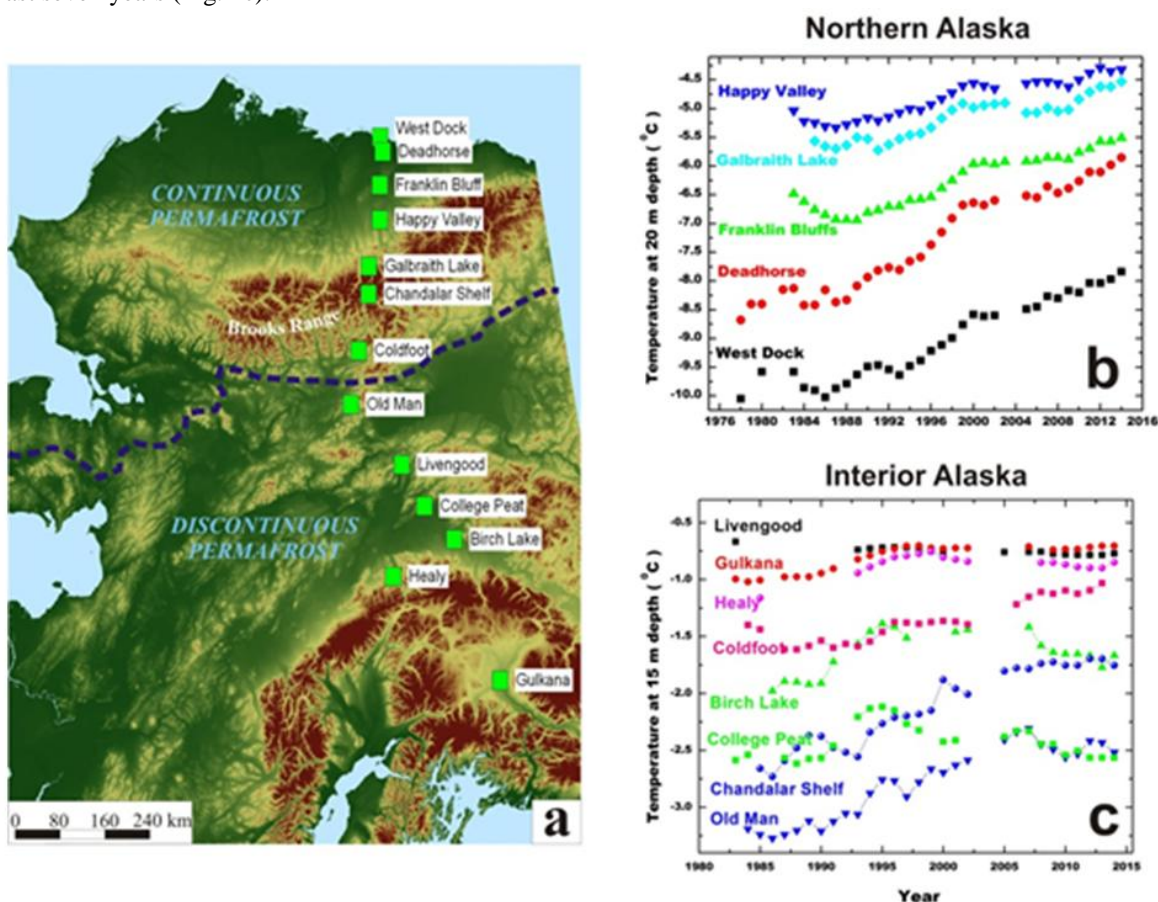


Fig.1. (a) Continuous and discontinuous permafrost zones in Alaska (separated by the broken blue line) and location of a north-south transect of permafrost temperature measurement sites; (b) and (c) time series of mean annual temperature at depths of 20 m and 15 m below the surface, respectively, at the measurement sites (updated from [Romanovsky et al. 2014]).

Fig. 2 allows better understanding the causes of this permafrost temperature increase. Permafrost temperature obviously follows the changes in the mean annual ground

temperature that, in turn, follows the changes in mean annual air temperature. The decadal time scale trend in permafrost temperature is almost identical to the decadal trend in the air



temperature. This may be an indication that there was no significant trend in the snow cover depth in the Alaskan Arctic during the last 30 years. Only recently (during the last 5 years), it seems that the rate of changes in near-surface permafrost temperatures begin to exceed the rate of increase in the air temperature (Fig. 2). This may indicate some increasing trend in snow cover depth during this period. This figure also shows that the latest climate warming brought near-surface ground temperatures on the Alaskan North Slope to an unprecedentedly high level. While the mean annual temperatures at the ground and permafrost surfaces at Deadhorse in mid-1980s were near  $-8^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3), in 2014 the mean annual temperature at the ground surface was only  $-1.3^{\circ}\text{C}$  and  $-2.2^{\circ}\text{C}$  at the surface of permafrost. These temperatures were just slightly lower ( $-1.8$  and  $-2.6^{\circ}\text{C}$  respectively) at the Franklin Bluffs site. This level of ground surface and permafrost surface temperature is more typical for the Interior Alaska and indicates that permafrost in some areas of the North Slope is losing its thermal stability.

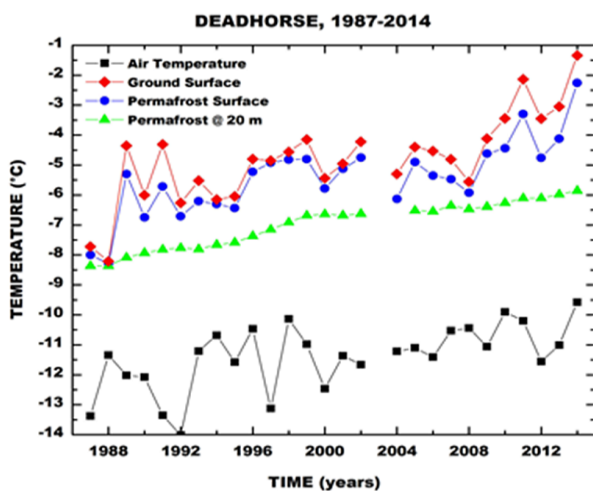


Fig. 2. Mean annual temperatures of air, ground surface, permafrost surface, and permafrost at 20 m depth recorded at the Deadhorse permafrost observatory in 1987-2014 on the North Slope of Alaska

Analysis of the seasonality of changes in ground temperature shows that the warming is occurring in both summer and winter, but the major part of increase falls on the cold season. As a result, the re-freezing of the active layer takes more and more time (Fig. 3). While the complete freeze-up of the active layer in northern Alaska in the mid-1980s typically occurred in the first half of October [Romanovsky *et al.* 2003], the typical freeze-up dates in the first half of the 2010s shifted to the middle December. In the winter of 2013-2014, an unprecedented date of freeze-up (January 15) was observed at the Deadhorse site (Fig. 3).

Again, this date of freeze-up is more typical for the Fairbanks area. During the last 30 years, the average date of freeze-up increased by almost two months. Higher permafrost surface temperatures supply a significant amount of heat to the deeper permafrost. This leads to substantial increase in permafrost temperatures not only at the surface but also at depth. Thus, the temperature of permafrost at 50 m depths at West Dock and Deadhorse sites increased by almost  $1^{\circ}\text{C}$  during the last 30 years. These data also indicate that the

average long-term heat flux into the permafrost at these two sites was on the order of  $0.5 \text{ W/m}^2$  during the last 30 years.

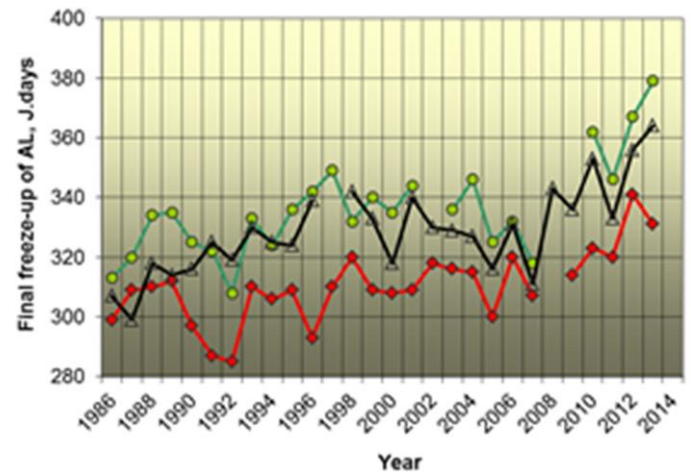


Fig. 3. The dates of complete freeze-up of the active layer (in Julian days) at West Dock (red diamonds), Deadhorse (green circles), and Franklin Bluffs (black triangles).

Since the early 2000s, we also record changes in permafrost temperature in two 50-m deep boreholes at Barrow. The data show that changes in permafrost temperature at Barrow are very similar to what we observe in the Prudhoe Bay area. These data also allowed us to reconstruct the past changes in ground temperature using our GIPL permafrost model [Romanovsky *et al.* 2002; Nicolsky *et al.* 2007]. This model was calibrated specifically to the Barrow environmental conditions using observational data. Calibrated model then was forced by the climate data collected at the Barrow meteorological station. The results of this reconstruction are shown in Fig. 4.

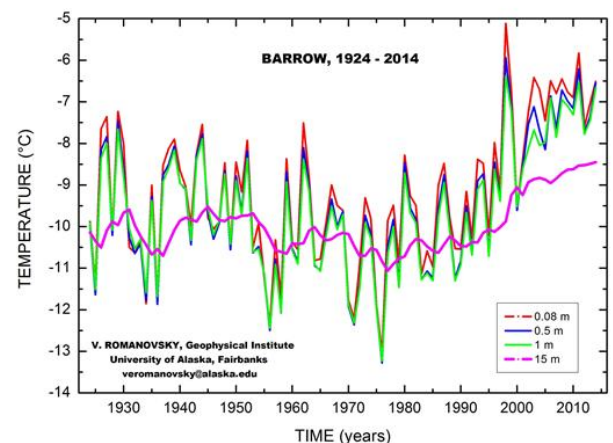


Fig. 4. Time series of mean annual ground temperatures at several depths measured since 2002 and modeled for the 1924-2001 time period.

The results indicate that the warming of the last 30 years was partially the result of recovering from the colder 1960s and 1970s. However, by now, the ground temperatures already significantly exceeded the level of ground temperatures that existed at any time during the last nearly 100 years (Fig. 4). Analysis of meteorological data shows that this increase in ground temperatures was the result of

increasing air temperatures and also was accelerated by some increase in snow depth during the last 30 years.

Permafrost temperatures in Interior Alaska (Fig. 1a) generally continued to decrease slightly in 2014 (Fig. 1c), a cooling that dates back to 2007. Consequently, temperatures in 2014 at some sites in Interior Alaska were lower than those located much further north, e.g., temperatures at College Peat are now lower than at Old Man (Fig. 1). However, at two sites, Birch Lake and Healy, this cooling trend was interrupted in 2014 by a warming of 0.1°C and 0.05°C, respectively (Fig. 1c).

Our data clearly indicate that the warming phase in permafrost temperature variations observed in the 1980s and 1990s in Interior Alaska was replaced by a cooling trend sometimes in the late-1990s or in the beginning of 2000s. Analysis of the climatic records obtained at the Fairbanks meteorological station shows that there was no significant air temperature increase during the last 40 years. The decrease in the snow depth during the last 15 to 20 years may be responsible for observed decrease or no change in permafrost temperatures in the Central Interior.

### Conclusions

Most of the permafrost observatories in Alaska show substantial warming of permafrost since the 1980s. The magnitude of warming has varied with location, but was typically from 0.5 to 3°C. However, this warming was not linear in time and not spatially uniform. A short warmer period in the very early 1980s was followed by a relative cooling in the mid-1980s. Since the late-1980s, the permafrost and active layer temperatures were increasing up to the late-1990s. During the first half of the 2000s, permafrost temperatures were not changing significantly at almost all of the sites in Alaska, except for the sites in the Brooks Range and at its southern foothills where the temperature was still increasing. Interesting dynamics in permafrost temperatures have been observed in Alaska since the mid-2000 until the present. While permafrost warming resumed on the North Slope of Alaska with a rate between 0.2 to 0.5°C per decade, permafrost temperatures in the Alaskan Interior started to experience a slight cooling that have continued during the first half of the 2010s.

### Acknowledgement

This research was funded by NSF OPP grants ARC-0856864, and -1304271, by DOE NGEER grant and by the State of Alaska. The Next-Generation Ecosystem Experiments (NGEE Arctic) project is supported by the Office of Biological and Environmental Research in the DOE Office of Science.

### References

Clow, G. D. & F. E. Urban, 2003. GTN-P Monitoring Network: Detection of a 3 K permafrost warming in Northern Alaska during the 1990s, First Study of Environmental Arctic Change (SEARCH) Open Science Meeting, 27-30 October 2003, Seattle, WA, [http://www.arcus.org/SEARCH/OSM/main\\_downloads.html](http://www.arcus.org/SEARCH/OSM/main_downloads.html)

- GTN-P, 2012. Global Terrestrial Network for Permafrost (GTN-P): Strategy and Implementation Plan 2012-2016, University of Alaska Press, Fairbanks, Alaska, 31 p.
- McGuire, A. D. et al. 2002. Environmental variation, vegetation distribution, carbon dynamics, and water/energy exchange in high latitudes, *Journal of Vegetation Science*, 13, 301-314.
- Nicolovsky, D. J., Romanovsky, V.E., and G. S. Tipenko, 2007. Using in-situ temperature measurements to estimate saturated soil thermal properties by solving a sequence of optimization problems, *The Cryosphere*, 1, 41–58.
- Osterkamp, T.E., 2003a. A thermal history of permafrost in Alaska, *Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Permafrost*, July 21-25, 2003, Zurich, Switzerland, Phillips, M., S.M. Springman, and L.U. Arenson (eds.), A.A. Balkema, Lisse, The Netherlands, 2, 863-868.
- Osterkamp, T.E., 2003b. Establishing long-term permafrost observatories for active layer and permafrost investigations in Alaska: 1977-2002. *Permafrost and Periglacial Processes*, 14, 331-342.
- Osterkamp, T. E., 2008. Thermal State of Permafrost in Alaska During the Fourth Quarter of the Twentieth Century (Plenary Paper), In *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost*, June 29-July 3, Fairbanks, Alaska, 2008, Vol. 2, pp. 1333-1338.
- Romanovsky, V. E. et al. 2002. Permafrost temperature records: Indicator of climate change. *Eos* 83 (no. 50), pp. 589, 593-594.
- Romanovsky, V. E. et al. 2003. Temporal variations in the active layer and near-surface permafrost temperatures at the long-term observatories in Northern Alaska. In: *ICOP 2003 Permafrost: Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*. M. Phillips, S. M. Springman, and L.U. Arenson, eds.) A.A. Balkema Publishers, Netherlands, pp. 989-994.
- Romanovsky, V. E. et al. 2007. Past and recent changes in air and permafrost temperatures in eastern Siberia. *Global and Planetary Change* 56,:399–413.
- Romanovsky, V. E. et al. 2010. Permafrost Thermal State in the Polar Northern Hemisphere during the International Polar Year 2007-2009: a synthesis. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21:106-116.
- Romanovsky, V. E. et al. 2011: Permafrost [in *Arctic Report Card 2011*], pp. 139-147.
- Romanovsky, V. E. et al. 2014: [The Arctic] Terrestrial Permafrost [in "State of the Climate in 2013"]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 95 (7), S139-S141.
- Schaefer, K., H. et al. 2012. Policy Implementations of Warming Permafrost, United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi, Kenya, 30 p.
- Schaefer, K., H. et al. 2014. The impact of the permafrost carbon feedback on global climate, *Environmental Research Letters*, 9 (2014) 085003 (9 pp), <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/085003>.
- Schuur, E.A.G. et al. 2015. Climate Change and the Permafrost Carbon Feedback, *Nature*, Vol. 520: 171-179, doi:10.1038/nature14338.
- Shiklomanov, N. I., et al. 2010. Decadal variations of active-layer thickness in moisture-controlled landscapes, Barrow, Alaska, *J. Geophys. Res.*, 115, G00I04, doi:10.1029/2009JG001248, 14 pp.
- Smith, S. L. et al. 2010. Thermal State of Permafrost in North America – A Contribution to the International Polar Year. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21:117-135.
- Walker, D. A. et al. 2008. Patterned-ground ecosystems: A synthesis of field studies and models along a North American Arctic Transect, *J. Geophys. Res.*, 113, G03S01, doi:10.1029/2007JG000504.



## Результаты геотермического мониторинга на стационаре Дионисия (Чукотка)

В.Т.Рузанов

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,  
685000, Магадан, ул. Портовая, 16, gidrogeoruz@mail.ru

### Реферат

Представлены результаты мониторинга температуры верхней части многолетней мерзлоты на геокриологическом стационаре Дионисия, расположенном в 15 км к югу от г. Анадыря. Изучена динамика среднегодовой температуры многолетнемерзлых грунтов при современных климатических изменениях. Исследования проводились в 1989-2014 гг. на 10 площадках, заложенных в урочищах различных типов для наблюдений в естественных и нарушенных условиях. Глубина слоя годовых колебаний температуры составляет 10-12 м. В первые 15 лет наблюдалось устойчивое повышение среднегодовой температуры грунтов и воздуха. В последние 10 лет региональное потепление климата и верхних горизонтов мерзлоты прекратилось.

**Ключевые слова:** многолетняя мерзлота; мониторинг; температура; Чукотка

### Results of Geothermal Monitoring on Dionisiya Station (Chukotka)

V.T.Ruzanov

N.A. Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Science,  
16 Portovaya st., Magadan, 685000, gidrogeoruz@mail.ru

### Abstract

Results of monitoring of temperature within upper permafrost on Dionisia geocryological station located in 15 km south from Anadyr town are presented. The estimation of mean annual frozen ground temperature dynamics under the contemporary climatic changes has been fulfilled. The studies were carried out in 1989-2014 on 10 sites established in stows of various types for supervision in natural and broken conditions. The depth of annual temperature fluctuations layer is 10-12 m. In the first 15 years have seen a steady rise in the average temperature of the soil and air. In the last 10 years regional climate warming and the upper layers of permafrost stopped.

**Key Words:** Chukotka; monitoring; permafrost; temperature

Геокриологический стационар (полигон) Дионисия создан в 1988 г., в 15 км к югу от г. Анадыря. На равнинном участке, между Анадырским лиманом и горой Дионисия, Анадырской экспедицией ПГО «Севостгеология», отрядом АКМГС (А.И. Назаренко, В.В. Ульянов) оборудованы 12 площадок для стационарных режимных наблюдений за комплексом ЭГП и режимобразующих факторов: параметрами климата, термовлажностным режимом грунтов, мощностью сезонноталого слоя (СТС), динамикой процессов пучения, термокарста, термоабразии, солифлюкции.

Надо отметить, что первые в районе Анадыря комплексные мерзлотные наблюдения на протяжении около 40 лет, начиная с 1935 г., велись Анадырской мерзлотной станцией АНИМС [Швецов 1938]. Необходимость продолжения исследований обусловила «возрождение» станции, но уже на новом месте, примерно в 22 км южнее, вблизи горы Дионисия.

До 1994 г. полевые работы вела Анадырская ГРЭ, в 1994-2003 гг. – ФГУГП «Георегион»; параллельно, в 1996-2014 гг., мониторинг вели подразделения СВКНИИ на Чукотке (под руководством автора проводились

полевые наблюдения за динамикой СТС и температуры грунтов в скважинах, а также озёрной термоабразией).

Из-за сокращения финансирования в 1991-1994 гг. были прекращены наблюдения на площадках солифлюкции и термоабразии, за метеофакторами, после 2003 г. прекратилось техническое нивелирование пучиномерных марок. В последнее десятилетие на стационаре проводились наблюдения на 10 площадках в естественных и нарушенных (со снятым почвенно-растительным слоем) условиях; продолжено изучение динамики сезонного протаивания (с 1988 г.), термического состояния грунтов в скважинах глубиной 20 м (с 1989 г.). Динамика протаивания за 1988-2007 гг. отражена нами ранее [Рузанов 2008].

Установление характера изменения среднегодовой температуры грунтов в скважинах, связь её с температурой воздуха, за период 1989-2014 гг., – основная задача настоящей работы.

За период мониторинга примерно 50 % термоскважин (глубиной по 20 м) вышли из строя; в настоящее время наблюдения за термическим состоянием грунтов ведутся в восьми скважинах, пробуренных в различных урочищах. В разрезе почти всех скважин - мерзлые четвертичные супеси, суглинки, реже прослойки песков,

галечников, линзы льда. На площадке 10 (скв. 95) на глубине 5 м вскрыты конгломераты палеогена. Скважина 74 пройдена со льда небольшого озера, площадью около

двух гектаров, в несквозном талике мощностью 15 м. Местоположение полигонных площадок и технически исправных скважин показано на рисунке 1.

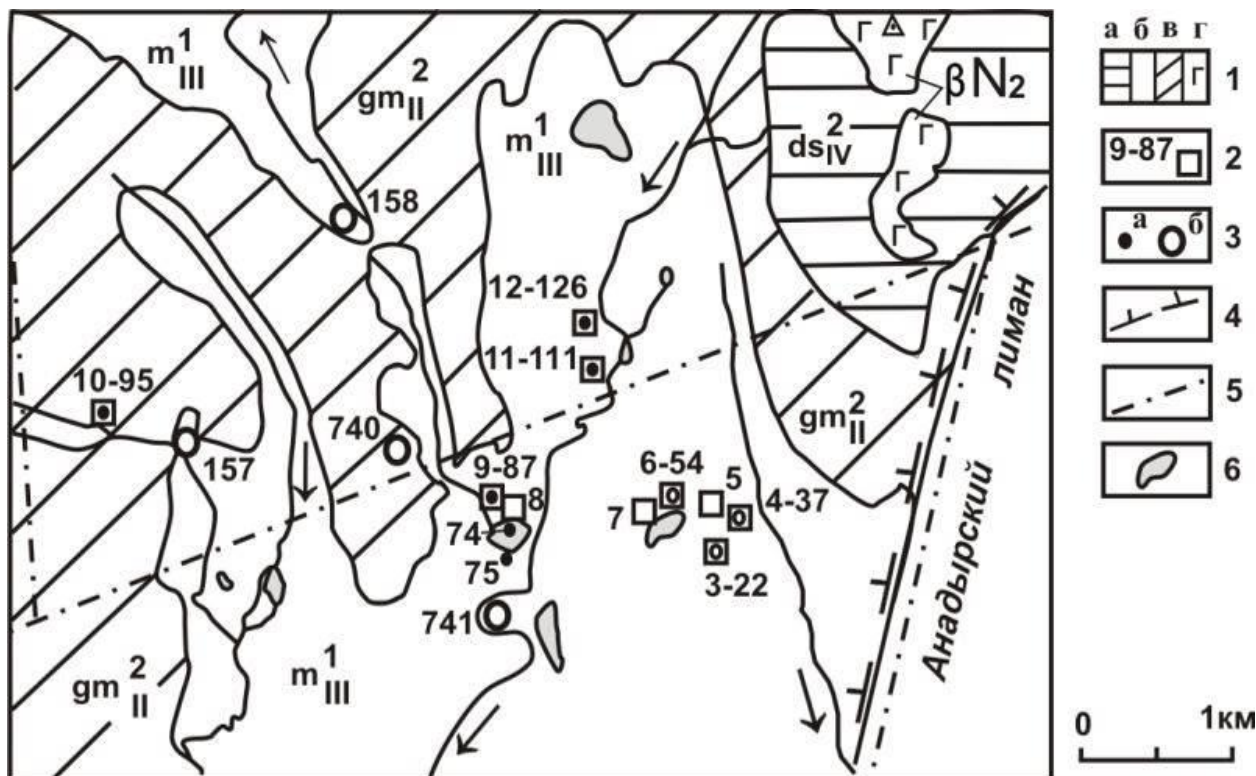


Рис.1. Схема расположения полигонных площадок и термоскважин на стационаре Дионисия:

- 1 – площади развития отложений (индексы на схеме): а – делювиально-солифлюкционных, б – морских, в – ледниково-морских, г – эффузивов; 2 – полигонная площадка и ее номер, через дефис номер термоскважины; 3 – скважины вне площадок: а – отдельная термоскважина глубиной 20 м, рядом её номер, б – разведочная скважина на уголь или подземные воды; 4 – граница ММП; 5 – основные разломы; 6 – озера

Почти все термоскважины, за исключением одной, находящейся в несквозном талике (скв. 74), пробурены на участках развития многолетнемерзлых пород. Мощность их, по результатам специальных наблюдений в относительно глубоких скважинах (150-500 м), гидрогеологических и разведочных на уголь, составляет здесь 80-150 м.

По данным геотермических наблюдений в скважинах на стационаре Дионисия, мощность слоя годовых колебаний температуры составляет 9-12 м. За 26-летний срок геотермического мониторинга установлены три более или менее хорошо выраженных периода (тенденции) колебаний температуры мерзлых грунтов на глубине 10 м: начальный – период похолодания (1989-1993 гг.), средний – потепления (1993-2004 гг.) и современный – стабилизации (2004-2014 гг.). При этом «внутри» двух последних периодов, т.е. в 1993-2014 гг., заметно проявление нескольких короткопериодных флуктуаций – продолжительностью до 3-5 лет (рис. 2).

При этом начальный период на графиках среднегодовой и скользящей температуры воздуха, по Анадырской гидрометеобсерватории, практически не

выразился. В то же время средний и последний (современный) периоды графиков температуры воздуха отслеживаются достаточно уверенно (рис. 2).

Среднегодовая температура воздуха в Анадыре за «глобально-региональный» период потепления (1975-2004 гг.), циклически изменяясь, повысилась на 1,5°C, положительный тренд за эти 29 лет составил 0,05°C/год.

В первые 16-17 лет геомониторинга, до 2004-2005 гг., в целом наблюдалось устойчивое повышение температуры грунтов на глубинах 10-20 м и увеличение мощности сезонного протаивания, синхронно с трендом температуры воздуха.

Позднее, в результате наблюдений в 2005-2014 гг., установлено окончание фазы регионального «потепления». Ниже, в таблице, приведены краткие характеристики периодов изменений и трендов среднегодовой температуры грунтов  $t_{cp}$  и средней, скользящей по 5-леткам, температуры воздуха в Анадыре.

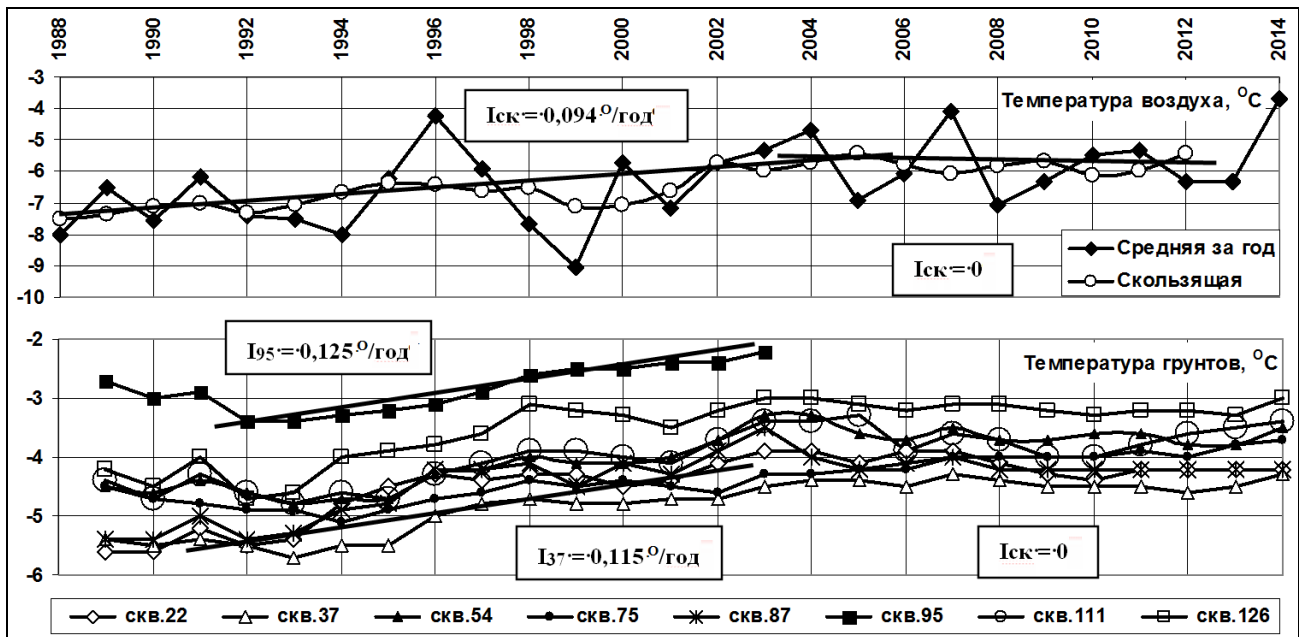


Рис. 2. Динамика среднегодовой температуры воздуха и температуры грунтов в скважинах на глубине 10 м

Таблица. Периоды и тренды температуры за 1989-2014 гг.

Период и его характеристика	Годы (продолжительность, лет)	Тренд $t_{ср}$ грунтов, °С/год	Тренд $t_{ср}$ воздуха, °С/год
Начальный - похолодание	1989-1993 (4)	$-(0...0,257)$	0
Средний - потепление	1993-2004 (11)	$+(0,115...0,125)$	+0,094
Современный - стабилизация	2004-2014 (10)	0	0

Графики температуры грунтов  $t_{ср}$  по разным скважинам почти параллельны между собой и увязываются с колебаниями температуры воздуха. Наиболее высокая  $t_{ср}$  (от  $-3,4$  до  $-2,2^{\circ}\text{C}$ ) зафиксирована на площадке 10 (скв. 95), расположенной на пологом склоне горы Дионисия. На плоских водоразделах (скв. 37, 22, 87)  $t_{ср}$  заметно ниже, чем в низинах (скв. 54, 111, 126). На нарушенных площадках установлен разогрев грунтов в первый же год наблюдений на  $1,0-1,5^{\circ}\text{C}$ .

В отличие от динамики  $t_{ср}$  на стационарах Марре-Сале (Ямал) и Чабыда (Якутск) [Дубровин Крижук 2010; Скачков и др. 2007] изменение  $t_{ср}$  на стационаре Дионисия имеет хорошо выраженный положительный тренд в период 1993-2003 гг. (рис.2; таблица). На стационаре Болванский, в условиях естественных ландшафтов, в 1983-2009 гг. темпы потепления мерзлых толщ были в 2-7 раз ниже темпов потепления климата [Малкова 2009]. На стационаре Дионисия картина иная: с период потепления (1993-2004 гг.) тренд грунтов на глубине 10 м почти не отличался от тренда воздуха. На Севере Западной Сибири в 1978-1995 гг. отмечено повышение температуры грунтов в соответствии с потеплением климата [Павлов 2002].

Положительные тренды температуры воздуха и мерзлых грунтов в последнюю треть XX в. До середины – конца первого десятилетия XXI в. установлены в Якутии,

в Магаданской области (Марчекан) и на Чукотке (Анадырь) [Сериков и др. 2012].

Динамика мощности сезонного протаивания на 10-ти площадках стационара Дионисия также свидетельствует о четкой реакции СТС на потепление или похолодание климата в регионе. При этом на площадках со снятой почвой мощность СТС заметно больше, чем в естественных условиях.

## Выводы

Региональное потепление климата, в районе г. Анадыря и стационара Дионисия, в период 1975-2004 гг., хорошо проявилось ростом скользящей среднегодовой температуры воздуха и отразилось повышениями  $t_{ср}$  грунтов и мощности СТС по данным криомониторинга в последние 26 лет на стационаре Дионисия.

В последние 10 лет, с 2004 по 2014 гг., в целом наблюдалась практически стабильная температура воздуха (по скользящим) и, синхронно, устойчивая среднегодовая температура грунтов с нулевым трендом.

## Благодарности

Автор выражает благодарность сотрудникам СВКНИИ, принимавшим активное участие в полевых работах на стационаре Дионисия и в обработке данных (Н.Н. Тыненкева, К.К. Уяганский, А.Е. Филонов). В 2007-

2014 гг. мониторингу весьма благоприятствовало сотрудничество с ИМЗ СО РАН (М.Н. Железняк, П.Я. Константинов, В.Г. Русаков и др. – установка термокос и логгеров, замеры температуры в скважинах и т.д.).

### Литература

- Дубровин В.А., Крицук Л.Н. 2010. Результаты изучения температурного режима мерзлой толщи района Марре-Сале // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Пятой Общероссийской конференции изыскательских организаций. ОАО ПНИИИС. 2010. – С. 81-84.
- Малкова Г.В. 2010. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 3, с. 2-14.
- Павлов А.В., Ананьева Г.В., Дроздов Д.С. и др. 2002. Мониторинг сезонноталого слоя и температуры мерзлого грунта на севере России // Криосфера Земли, 2002, т. VI, № 4, с. 30-39.
- Рузанов В.Т. 2008. Геокриологический стационар Дионисия (Чукотка): результаты 20-летнего мониторинга температуры и сезонного протаивания грунтов // Материалы межд. конф. «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов». – Тюмень. Изд-во ТюмНГУ, 2008. – С. 269-271.
- Сериков С.И., Железняк М.Н., Гулый С.А. и др. 2012. Мониторинговые наблюдения за динамикой температурного режима горных пород в Восточной Сибири // Труды Десятой Межд. конф. по мерзлотоведению (ТICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. – Тюмень, Россия: Печатник, 2012. – С. 287-288.
- Скачков Ю.Б., Скрябин П.Н., Варламов С.П. 2007. Результаты 25-летних мониторинговых исследований криолитозоны на стационаре Чабыда (Центральная Якутия) // Материалы межд. конф. «Криогенные ресурсы полярных регионов». – Салехард. Изд-во ТюмНГУ, 2007. Том 1. – С. 167-170.
- Швецов П.Ф. 1938. Вечная мерзлота и инженерно-геологические условия Анадырского района. – Л.: Изд-во Главсевморпути, 1938. – 79 с.



## Геофизические методы изучения инженерно-геокриологических условий на стационаре Марре-Сале (Ямал) в зимний период

М.Р.Садуртдинов, А.М.Царев, А.Г.Скворцов, М.С.Судакова, Е.А.Слагода  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
В.А.Дубровин  
ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии ВСЕГИНГЕО, Моск. обл.

### Реферат

Приведены результаты геофизических исследований, полученные на геокриологическом стационаре Марре-Сале зимой 2014 года. С помощью сейсмических методов установлено, что в прибрежной части шельфа Карского моря (на удалении более 400 м от береговой линии) многолетнемерзлые породы в верхней части разреза отсутствуют. Георадиолокационные исследования на береговом уступе показали, что этот метод может успешно применяться не только для определения мощности снежного покрова, но и для расчленения геокриологического разреза в сильнозасоленных песчано-глинистых грунтах.

**Ключевые слова:** методика донных сейсмических исследований, сейсмический каротаж, поперечные SH-волны, георадиолокация.

### Geophysical Methods of Permafrost Studies in Winter (Marre-Sale Key-Site, Yamal)

M.R.Sadurtdinov, A.M.Tsarev, A.G.Skvortsov, M.S.Sudakova, E.A.Slagoda  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
V.A.Dubrovin

All-Russia Scientific and Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), Moscow, Russia

### Abstract

The results of geophysical studies on Marre-Sale key-site obtained in winter 2014 were shown. Using seismic methods it was found that in the coastal part of the Kara Sea shelf (at a distance more than 400 m from the shoreline) there was no permafrost in the upper part of the cross-section. GPR could be successfully used not only to determine the thickness of snow, but also for the sectional layering of geocryological cross-section in salty sand and clay soils. It was shown by GPR results on bank slope.

**Key Words:** technique of bottom seismic investigation, borehole seismic, SH-waves, GPR.

### Введение

Геофизические исследования (преимущественно сейсмические) на геокриологическом стационаре Марре-Сале проводятся ежегодно, начиная с 2008 года [Садуртдинов и др. 2010; Скворцов и др. 2010; Царев и др. 2010; и др.].

Одним из основных направлений исследований является изучение формы и глубины залегания многолетнемерзлых пород (ММП) в прибрежной мелководной части шельфа Карского моря. Ранее было установлено, что глубина кровли ММП на берегу составляет 1,5-2 м и постепенно увеличивается до 4-5 м на удалениях более 130 метров от береговой линии [Садуртдинов и др. 2010; Царев и др. 2010].

В мае 2014 года проведены сейсмические исследования со льда на удалениях 400 и 900 метров от берега с целью поиска кровли ММП в верхней части разреза.

Георадиолокационные исследования проводились по двум направлениям:

- определение мощности снежного покрова;
- изучение геокриологического разреза на участках различного генезиса

### Методика исследований

Для выполнения сейсмических исследований использовались современные сейсмостанции «ЭЛЛИСС-2» и «ТЕЛСС-3» (ООО «Геосигнал», Москва, Россия).

Сейсмические исследования проведены в двух скважинах глубиной до 20 метров и на одном донном профиле длиной 46 метров. Исследования в скважинах проводились методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП), донные исследования – с использованием методики донных сейсмических исследований, разработанной в ИКЗ СО РАН [Садуртдинов и др. 2013].

Для возбуждения и регистрации сейсмических колебаний использовалось оборудование, разработанное и сконструированное в ИКЗ СО РАН. Оборудование позволяет одновременно возбуждать и регистрировать продольные и поперечные SH-волны на дне акватории. При проведении ВСП регистрация упругих волн осуществляется скважинным сейсмическим зондом, разработанным в ИКЗ СО РАН.

Георадиолокационные исследования выполнялись с использованием георадара «Zond-12e» и антенной с центральной частотой 300 МГц (Radar Systems, Inc., Рига,

Латвия). Наблюдения проводились на береговом уступе методом непрерывного профилирования. Длина профилей составила от 60 до 130 м.

### Сейсмические исследования

Сейсмический каротаж проводился в обсаженных скважинах 16-14 и 15-14 на удалениях 400 и 900 м от береговой линии соответственно. Интенсивный фон волн-помех, связанных с наличием обсадных труб, не позволил получить данные о скоростном разрезе продольных волн. Качественные данные были получены лишь с помощью поперечных SH-волн (рис. 1А).

В структуре поля поперечных SH-волн уверенно выделяются прямая поперечная SH-волна ( $T_{SH}$ ) и поперечная SH-волна ( $T_{SH}^{отр}$ ), отраженная от маломощного горизонта с прослоями песка на глубине 3-

3,5 м. На сейсмической записи прослеживается также продольная волна по обсадной трубе ( $T^{обс}$ ).

Значения интервальной скорости поперечной SH-волны в этой скважине невелики – не более 200 м/с. В скважине 16-14 характер изменения скоростей с глубиной несколько иной. Однако и здесь интервальная скорость не превышает 220 м/с.

Необходимо отметить, что на момент проведения работ в пределах всего исследуемого интервала глубин геологического разреза температура пород была отрицательной.

Однако низкие значения скорости поперечных SH-волн являются убедительным доказательством тому, что породы здесь не содержат льда и физически находятся в талом состоянии.

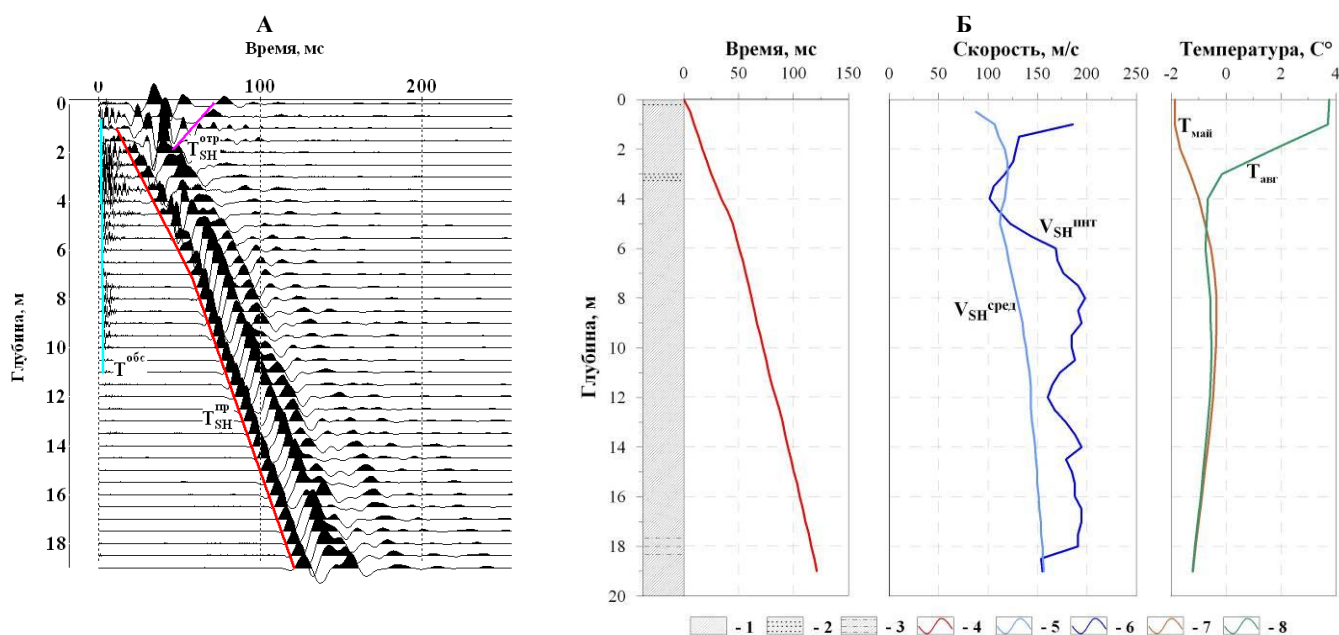


Рис. 1. Исходные сейсмические записи поперечных SH-волн в скв.15-14 (А) и результат их обработки (Б).

$T^{обс}$  – продольная волна по обсадной трубе;  $T_{SH}$  – прямая поперечная SH-волна;  $T_{SH}^{отр}$  – поперечная SH-волна, отраженная от прослоев песков; 1 – суглинки; 2 – суглинки с примесями/прослоями песка; 3 – суглинки с примесями/прослоями алеврита; 4, 5, 6 – годограф, средняя и интервальная скорости поперечной SH-волны соответственно; 7, 8 – график температуры в скважине в мае и августе 2014 года соответственно

Донные сейсмические исследования проводились по профилю вблизи скважины 15-14. Как и при сейсмическом каротаже, продольные волны оказались неэффективны. С их помощью удалось выделить лишь прямую продольную волну  $T_p^{пр}$ , распространяющуюся в приповерхностном слое донных отложений. Скорость прямой волны равна 1560 м/с. Это свидетельствует о том, что исследуемые породы являются полностью водонасыщенными.

В структуре поля поперечных SH-волн, помимо прямой волны  $T_{SH}^{пр}$  со скоростью 110-130 м/с, прослеживается преломленная волна  $T_{SH}^{прел}$  со скоростью 160-170 м/с

(рис. 2). Эта волна связана с сейсмогеологической границей, расположенной на глубине около 3,5-4,5 м. Наличие этой границы и ее положение в разрезе подтверждается и данными сейсмического каротажа. Скоростные разрезы по данным донных наблюдений также хорошо согласуется с результатами каротажа.

Результаты донных сейсмических исследований – низкие значения скорости поперечных SH-волн и высокое значение коэффициента Пуассона ( $\mu=0,49$ ), – свидетельствуют о том, что породы в исследуемом интервале глубин находятся в талом состоянии. [Скворцов и др. 2014].



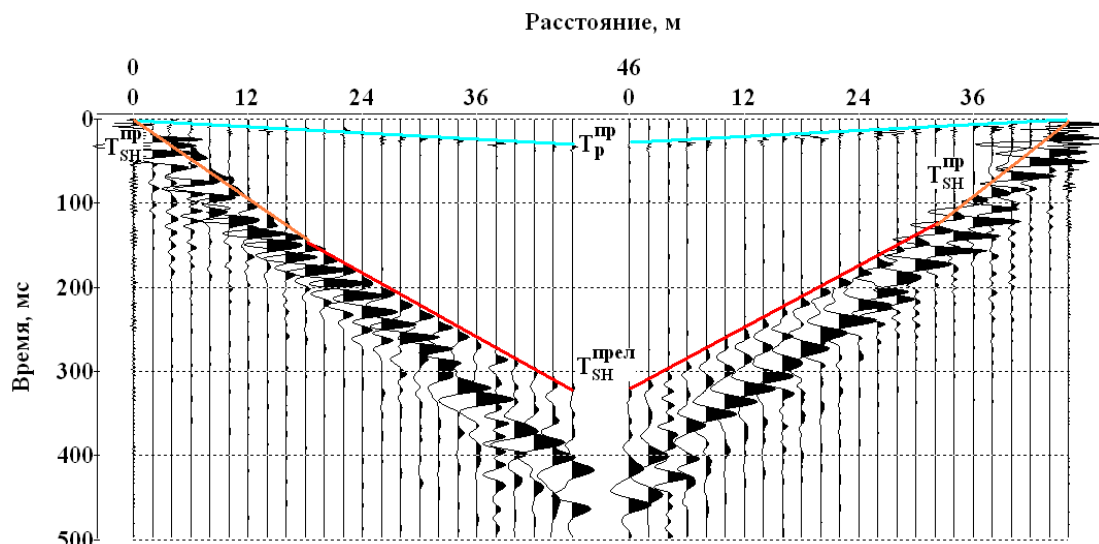


Рис. 2. Структура поля поперечных SH-волн по донному профилю на удалении 900 метров от береговой линии.  $T_p^{np}$  – прямая продольная волна;  $T_{SH}^{np}$  – прямая поперечная SH-волна;  $T_{SH}^{nprefl}$  – преломленная поперечная SH-волна.

### Георадиолокационные исследования

При проведении геокриологических исследований одной из задач является качественная (по возможности – количественная) оценка термического влияния снежного покрова на температуру приповерхностной части разреза. Особенно актуально это в районах с сильной изрезанностью в рельефе дневной поверхности (наличие большого количества рек, озер, оврагов различного генезиса и т.п.). Здесь мощность снега может изменяться от нескольких сантиметров до метров.

Существующие на данный момент в геокриологии методы определения снежного покрова трудоемкие и зачастую не позволяют получить полную информацию о величине снежного покрова (особенно если он превышает несколько метров). Кроме того, они дают

количественную оценку только в конкретной точке, проведение непрерывного зондирования невозможно.

На рис. 3 приведен результат применения метода георадиолокации для решения этой задачи. Профиль длиной 60 м проходил по крутому береговому склону. Как видно из рисунка, мощность снега здесь изменяется от 0 до 3,5 метров. Результаты измерений в отдельных точках были заверены с помощью щупа.

Необходимо обратить внимание на то, что в разрезе выделяются границы внутри толщи снега, связанные с изменением его льдистости, плотности и пр. Кроме того, здесь фрагментарно прослеживается отраженная волна, приуроченная к геологической границе в толще песков до глубин 2,5 м (от поверхности земли).

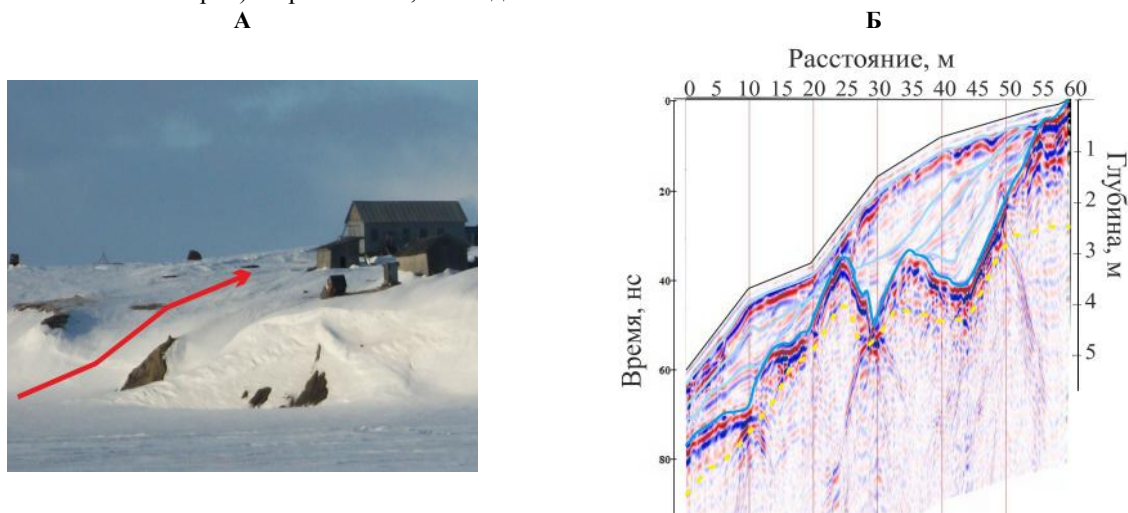


Рис. 15. Общий вид (А) и георадарограмма с интерпретацией (Б) по профилю на береговом склоне.

- подошва снега
- границы внутри слоя снега
- границы в песке
- подошва песка (кровля глины)
- скопление объектов-помех под слоем снега (строительный мусор, бочки и т.д.)

А

Б

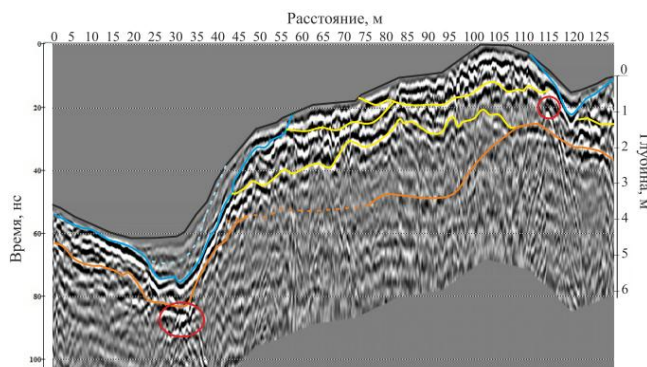


Рис. 4. Общий вид (А) и георадарограмма с интерпретацией (Б) по профилю вдоль кромки берегового склона. Условные обозначения см. на рис. 3.

Возможность использования георадара для геокриологического расчленения разреза наглядно демонстрирует рис. 4.

Здесь практически на всем протяжении профиля в разрезе прослеживаются не только подошва снега, но и кровля глин, расположенная на глубине от 1 до 3 метров, и несколько границ внутри песка. При этом интерпретация полученных данных подтверждена прямыми натурными наблюдениями (на свободных от снежного покрова участках).

Следует также обратить внимание на участок профиля на пикете 30. Он характеризуется наличием дифракций, приуроченных к скоплению большого количества бочек под слоем снега.

Отмечая эффективность и оперативность использования метода георадиолокации для изучения геологического/геокриологического разреза, следует подчеркнуть, что наличие глинистых и сильнозасоленных отложений делает его использование малоэффективным. Однако на стационаре Марре-Сале присутствие в верхней части разреза сильнозасоленных песков не повлияло на получение качественных и информативных данных.

### Выводы

Проведенные в зимний период времени геофизические исследования на геокриологическом стационаре Марре-Сале показали их высокую эффективность для изучения инженерно-геокриологических условий верхней части разреза.

Комплексные сейсмические исследования продемонстрировали целесообразность и высокую эффективность использования поперечных SH-волн для изучения инженерно-геокриологических условий в мелководной прибрежной части морского шельфа. Возможность использования продольных волн ограничена.

На стационаре Марре-Сале на удаленностях 400 и 900 метров от береговой линии многолетнемерзлые породы в верхней части разреза до глубины 20 метров отсутствуют.

Метод георадиолокации позволил успешно определить не только мощность снежного покрова, но и детально

расчленив верхнюю часть геокриологического разреза.

Положительные результаты применения геофизических методов показывают, что для получения более качественных и количественных данных об особенностях и строении геокриологического разреза необходимо применять комплексирование различных геофизических методов.

### Литература

- Садуртдинов М.Р., Царев А.М., Дубровин В.А., Скворцов А.Г. Опыт изучения инженерно-геокриологических условий в пределах мелководных акваторий на территории полуострова Ямал // Материалы международной конференции и выставки «Санкт-Петербург-2010. К новым открытиям через интеграцию геонаук», 05-08 апреля 2010 г.
- Садуртдинов М.Р., Скворцов А.Г., Царев А.М. Методика донных сейсмических исследований на предельном мелководье для решения инженерно-геологических задач // XIII ежегодная международная конференция «Гальперинские чтения 2013». – М., 2013, – 3 с. [http://geovers.com/base/files/gr13/papers/gr2013\\_pp\\_p5-6\\_36\\_Sadyrtdinov.pdf](http://geovers.com/base/files/gr13/papers/gr2013_pp_p5-6_36_Sadyrtdinov.pdf).
- Скворцов А.Г., Садуртдинов М.Р., Царев А.М. Сейсмические критерии идентификации мерзлого состояния горных пород // Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, №2, с.83-90.
- Скворцов А. Г., Царев А. М., Садуртдинов М. Р., Дубровин В. А. Опыт изучения инженерно-геокриологических условий в пределах геокриологического стационара «Марре-Сале» на полуострове Ямал с помощью сейсморазведки // Тезисы докладов научной конференции по созданию программы Международного Полярного десятилетия. Сочи, 4-7 октября 2010 г.
- Царев А. М., Скворцов А. Г., Садуртдинов М. Р. Опыт использования сейсмических методов при инженерно-геокриологических исследованиях // Шестая международная научно-практическая конференция «Инженерная и рудная геофизика 2010», Геленджик, 26 – 30 апреля 2010 г, 4с., электронная версия.

## Опыт оценки техногенного воздействия на геологическую среду криолитозоны путём расчёта коэффициента густоты малых термокарстовых озёр (на примере Бованенковского месторождения, Ямал)

Г.С.Санников

ООО ГП «Промнефтегазэкология», г. Тюмень

### Реферат

В работе исследуются закономерности влияния техногенного фактора на геологическую среду при освоении Бованенковского газового месторождения. Оценка производится путём анализа динамики малых термокарстовых озёр на участках с различной техногенной нагрузкой. Сделаны выводы о влиянии техногенеза на динамику малых озёр, проявляющегося уменьшением количества малых озёр ниже по рельефу от техногенных объектов. Причиной такого уменьшения признан перехват поверхностного стока отыпками инженерных сооружений.

**Ключевые слова:** морфометрия рельефа; малые озёра; полуостров Ямал; термокарст; техногенное воздействие.

### Evaluation of Anthropogenic Impact upon the Permafrost Via Calculating the Coefficient of the Density of Small Thermokarst Lakes (Bovanenkovo Gas Field, Yamal Peninsula)

G.S.Sannikov

Promneftegazekologiya Ltd., Tyumen, Russia

### Abstract

Current paper is dedicated to studying of anthropogenic impact influencing the geological environment of cryolithozone on a Bovanenkovo gas field. Evaluation is done via small thermokarst lakes dynamic analysis. Areas of different anthropogenic charge are studied. Conclusions about small lakes amount decrease on lower to technogenic objects relief levels are made. The reason of such decrease is interception of surface water drainage, caused by technogenic objects.

**Key Words:** anthropogenic impact; relief morphometry; thermokarst; small lakes; Yamal peninsula

### Введение

Активное освоение газовых месторождений на полуострове Ямал, находящихся в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, ставит задачу оценки динамики и прогноза современных экзогенных геологических процессов, протекающих вблизи объектов газодобывающей промышленности. Для решения этой задачи применяются различные методы полевых, модельных, дистанционных исследований.

В нашем исследовании оценка воздействия техногенеза на геологическую среду [Сергеев 1979] будет произведена при помощи подсчёта некоторых динамических характеристик малых термокарстовых озёр. Под «малыми» в данной работе понимаются озёра площадью менее 5000 м<sup>2</sup>. Индикационная роль таких озёр, по нашему представлению, заключается в том, что их динамика является маркером изменения гидрологических и геокриологических условий [Санников 2010]. Причиной этих изменений могут быть как природные, так и техногенные факторы.

### Методика и результаты

В условиях Бованенковского газового месторождения основными видами воздействия на геологическую среду

являются [Грива 2006]: а) нарушение почвенно-растительного слоя (ПРС); б) изменение режима снегонакопления; в) изменение поверхностного и грунтового стока. Эти виды воздействия оказывают влияние на интенсивность и характер большинства экзогенных геологических процессов, действующих на территории месторождения.

Нарушение ПРС в условиях тундры оказывает влияние на альбедо поверхности, увлажнённость и плотность грунтов, а значит, по представлению многих исследователей, может привести к активизации термокарста [Rikard Brown 1974; Невечера и др. 1975; Хомутов Хитун 2014]. Данные полевых работ, проведённых автором на Бованенковском месторождении, позволяют судить, что нарушение ПРС приводит к активизации термокарста лишь в редких случаях. К таким случаям относятся неоднократные проезды гусеничного транспорта через миграционные бугры пучения, которые начинают разрушаться при нарушении теплоизолирующего торфяно-мохового слоя.

Техногенное воздействие, а именно – сооружение отсыпок, зданий, линейных коммуникаций в некоторых случаях ведёт к перераспределению мощности снежного покрова. С наветренной стороны отсыпок и зданий мощность снежного покрова увеличивается, что

приводит к более позднему началу весеннего оттаивания деятельного слоя, а также к менее глубокому промораживанию пород в зимнее время. Таким образом, можно сказать, что увеличение мощности снежного покрова стабилизирует термический режим верхней части многолетнемерзлой толщи, что негативно сказывается на динамике криогенных геологических процессов.

Среди выделенных видов техногенного воздействия на геологическую среду наиболее существенную, на наш взгляд, роль играет изменение поверхностного и грунтового стока. В условиях исследуемого района техногенное перекрытие поверхностного стока является причиной развития подтопления. При благоприятных геоботанических условиях техногенно подтопленные участки могут начать заболачиваться. При техногенном обводнении участков с высокольдистыми грунтами возможна активизация термокарста за счёт растепляющего действия воды [Шур 1977; Гравис 1978; Гречищев и др. 1984; Романенко 1997].

Помимо техногенной активизации термокарста, в результате перехвата поверхностного стока отсыпками геоморфологические уровни, находящиеся ниже по стоку от этих отсыпок, начинают осушаться. Такое осушение приводит к изменению количества малых термокарстовых озёр.

Для проверки этого тезиса нами было произведено сравнение картограмм коэффициента густоты малых озёр (Кгуст). Данный коэффициент рассчитывается по формуле:  $K_{густ} = N_{малых}/S$ , где  $N_{малых}$  – количество малых озёр в пределах участка;  $S$  – площадь участка. Данный коэффициент рассчитывался по регулярной сетке с шагом 2 км. Анализ динамики этого коэффициента проведён на ключевых участках. Эти участки были выбраны по принципу нестабильности динамических показателей термокарстовых озёр, а их границы проведены способом визуального районирования.

Береговые линии озёр были оцифрованы вручную с топографической карты масштаба 1:100 000 1989 г.; аэрофотоснимков 2003 г.; космоснимков сверхвысокого разрешения GeoEye и QuickBird 2009 г.

Значения коэффициентов были подсчитаны для трёх временных срезов: 1989, 2003 и 2009 г. При оценке данного показателя как индикатора техногенной нагрузки мы исходили из того, что для отрезка 1989-2003 гг. характерно низкое техногенное воздействие, в то время как для периода 2003-2009 г. – высокое. Именно в период 2003-2009 гг. началось активное обустройство месторождения, строительство инженерных сооружений и коммуникаций.

При сравнительном анализе картограмм разности коэффициентов Кгуст за периоды 1989-2003 гг. и 2003-2009 гг. обращает на себя внимание значительная разница в значениях этого параметра между исследуемыми периодами. Причём заметно тяготение квадратов с наиболее значительными изменениями данного параметра к участкам с максимальной техногенной нагрузкой.

Так, наиболее заметные изменения разности коэффициентов встречаемости малых озёр отмечаются на участке поймы р. Сеяха, где построен пос. Бованенково, Промбаза ГП-1, отсыпан ряд кустовых площадок и сопутствующих объектов (Участок 1, табл. 1, рис. 1). Для периода 1989-2003 гг. значениями изменения Кгуст в пределах этого участка были 0 – +0,15 ед/км<sup>2</sup>. В период 2003-2009 гг. стали доминировать значения -1,15 – 0 ед/км<sup>2</sup>, в некоторых квадратах значения опустились до -2,15 – -1,15 ед/км<sup>2</sup>. Такие значения свидетельствуют о том, что количество малых озёр в период 2003-2009 гг. закономерно уменьшилось.

Аналогичное явление уменьшения количества малых озёр отмечено нами в районе площадки УКПГ ГП-2 (Участок 3), табл. 1, рис. 1. Для периода 1989-2003 гг. фонирующими значениями изменения Кгуст в пределах этого участка также был диапазон 0 – +0,15 ед/км<sup>2</sup>. В период 2003-2009 гг. стали доминировать значения -1,15 – 0 ед/км<sup>2</sup>.

Обращает на себя внимание тот факт, что уменьшение количества малых озёр происходит ниже по стоку от техногенных объектов. Такая закономерность обнаружена нами на Участках №№1, 3. Эта закономерность свидетельствует, на наш взгляд, о зависимости количества малых озёр от слоя поверхностного и приповерхностного стока. При перехвате этого стока техногенными объектами происходит снижение обводнённости, что в свою очередь, приводит к затуханию термокарста. Техногенные термокарстовые просадки, образование которых имеет место выше по стоку, не способны статистически значимо компенсировать высохшие и спущенные малые озёра природного происхождения.

Ниже приведена таблица, в которой собраны данные по участкам различной степени техногенной нарушенности и динамике термокарстовых озёр в пределах этих участков (табл. 1). Местоположение этих участков показано на картограммах (рис. 1).

Таблица 1. Участки с различной степенью техногенной нарушенности и динамике малых термокарстовых озёр в пределах этих участков

№	Уровень рельефа	Техногенные объекты в пределах участка	Разность $K_{густ}$ (ед/км <sup>2</sup> )	
			1989-2003	2003-2009
1	Средняя пойма	пос. Бованенково, Промбаза ГП-1, Площадка УКПГ ГП-1, 5 кустовых площадок,	от 0 до +1,15	от -2,15 до 0
2	Водораздел	База Бурения, электростанция, площадка складирования грузов	от 0 до +1,15	от 0 до +1,15
3	Высокая пойма	Площадка УКПГ ГП-2; 3 кустовых площадки	от 0 до +1,15	от -1,15 до 0
4	Высокая пойма	на 2009 г объекты отсутствуют.	от -1,15 до 0	от -1,15 до 0
5	Низкая пойма	одна кустовая площадка	от -1,15 до 0	от -1,15 до 0

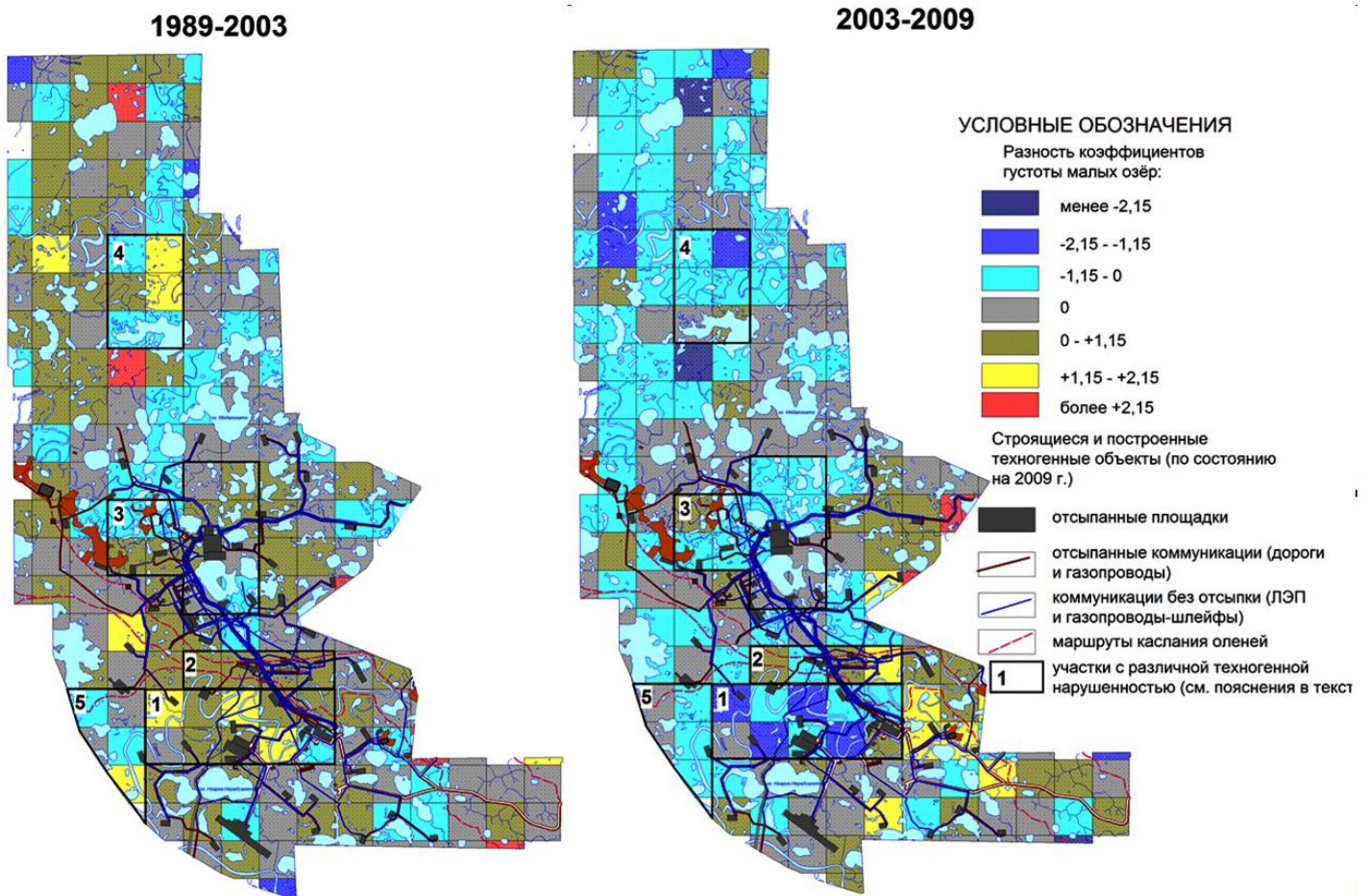


Рис.1 Картограммы разности коэффициентов густоты малых озёр на территории Бованенковского НГКМ за периоды 1989-2003 и 2003-2009 гг. с нанесённой техногенной нагрузкой.

### Выводы:

- техногенное воздействие на исследуемый район началось после 2003 г.;
- воздействие на геологическую среду криолитозоны при сооружении газопромысловых объектов заключается в: 1) нарушении почвенно-растительного слоя; 2) перераспределении снега; 3) нарушении и перераспределении поверхностного и грунтового стока;
- наиболее важным видом воздействия на геологическую среду исследуемого района является нарушение и перераспределение поверхностного и грунтового стока, приводящее к обводнению обширных участков и активизации термокарста;
- возможность оценить интенсивность техногенного воздействия на геологическую среду даёт сравнение изменений коэффициента густоты малых озёр за периоды до и после начала работ по обустройству месторождения;
- активное техногенное воздействие с 2003 по 2009 гг привело к уменьшению количества малых озёр на пойме, ниже по рельефу от построенных

объектов, что связано с перехватом поверхностного стока отсыпками и иссушением малых озёр на нижележащих поверхностях;

- наиболее динамичными в плане изменения количества малых озёр являются участки пойм рр. Сеяха и Юнетаяха (Участки 1, 3, 5). В средней части поймы р. Сеяха и на пойме р. Юнетаяха (Участки 1, 3) изменения количества малых озёр носят техногенный характер. Схожие процессы в нижнем течении р. Сеяха (Участок 5) не имеют связи с деятельностью человека и имеют природный характер.

### Литература

- Гравис Г.Ф. Цикличность термокарста на приморских низменностях в верхнем плейстоцене и голоцене// Труды III международной конференции по мерзлотоведению, Т.1, Оттава, 1978, с. 283-287.
- Гречищев С.Е. Москаленко Н.Г., Шур Ю.Л. и др. Геокриологический прогноз для Западно-Сибирской газоносной провинции. Новосибирск, Наука, 1983.182 с.
- Грива Г.И. Геоэкологические условия разработки газовых месторождений полуострова Ямал.

- Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Томск, 2006. 46 с.
- Невечеря В.Л., Казанский О.А. К методике ускоренного определения величины и интенсивности пучения грунтов при промерзании// Геокриологические исследования. М.: ВСЕГИНГЕО. 1975. С.14-20
- Романенко Ф.А. Формирование озёрных котловин на равнинах Арктической Сибири: 1997; автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата географических наук. М.: 1997. 25 с.
- Санников Г.С. Плановая форма и размер термокарстовых озёр как индикатор устойчивости рельефа Ямала// Теория геоморфологии и ее приложение в региональных и глобальных исследованиях. Чтения памяти Н.А. Флоренсова. Иркутск, ИЗК СО РАН, 2010.
- Сергеев Е. М. Инженерная геология – наука о геологической среде// Инженерная геология. 1979. №1
- Шур Ю.Л. Термокарст (к теплофизическим основам учения о закономерностях развития процесса). М.: Недра, 1977, 80 с.
- Хомутов А.В., Хитун О.В. Динамика растительного покрова и глубины сезонного протаивания в типичной тундре Центрального Ямала при техногенном воздействии// Вестник Тюменского государственного Университета. 2014. №4. Науки о Земле. С. 17-27
- Rikard W.E., Brown J. Effects of vehicles on arctic tundra// Environmental Conservation. 1974. №1. Pp 55-62.



## Палеопедологическая криотрасология: почвенные индикаторы позднеплейстоценового криолитогенеза в Европе и Западной Сибири

С.Н.Седов

*Национальный Автономный Университет Мексики, Тюменский государственный нефтегазовый университет*

В.С.Шейнкман

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень*

### Реферат

Почвы – динамичный компонент криолитосферы, с частыми фазовыми переходами в системе “лед – вода – пар”. Криолитогенез взаимодействует с педогенетическими процессами, формируя в твердофазной матрице почв комплекс специфических признаков. Эти признаки сохраняются в погребенных палеопочвах, где служат индикаторами былых криогенных обстановок. Криопедогенные индикаторы разделяются на два типа – формирующиеся при непосредственном участии льда, и оставленные почвенными процессами, которые могут развиваться в безледных обстановках, но существенно модифицируются средой с отрицательными температурами. Оба типа используются для ландшафтных реконструкций холодных эпох плейстоцена, в особенности – охватывающей морские изотопные стадии (МИС) 5 – 2, в том числе для документирования межстадиальных интервалов. Прямые индикаторы – шпировые криотекстуры помогли документировать ранние этапы похолодания в конце МИС5е в профиле Микулинской палеопочвы в Курской области. Косвенные индикаторы, такие как оглеение, обусловленные нахождением почв в многолетнемерзлой среде, были использованы для характеристики перехода МИС3 – МИС2 в австрийских лессово-почвенных разрезах. Оба типа признаков были использованы также при изучении позднекаргинских палеопочв, впервые обнаруженных авторами на правом берегу Средней Оби.

**Ключевые слова:** криопедогенез, палеопедологическая криотрасология, палеокриогенные обстановки, плейстоцен.

### Paleopedological Cryo Trasology: Soil Indicators of the Late Pleistocene Cryolithogenesis in Europe and Western Siberia.

S.N.Sedov

*Universidad Nacional Autónoma de México, Tyumen State Gas and Oil University*

V.S.Sheinkman

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Soils are dynamic component of the cryolithosphere characterized by frequent phase transitions within the system “ice – water – vapor”. Cryolithogenesis interacts with the pedogenetic processes forming a set of specific features in the solid matrix of soils. These features are preserved in the buried paleosols where they could be used as indicators of the past cryogenic environment. Cryopedologic indicators are subdivided in two groups: 1) those whose formation directly involves ice and 2) those produced by pedogenetic processes which could develop under the ice-free conditions but are strongly modified in the environment with negative temperatures. Both types are used for paleolandscape reconstructions of the cold periods of the Pleistocene, in particular – those of the last glacial-interglacial cycle (Marine Isotope Stages - MIS5 - 2) including documentation of interstadials. Direct indicator – lenticular cryogenic texture helped to document the early stages of cooling at the end of MIS5e in the profile of Mikulino paleosols in the Kursk region. Indirect indicators like gleying developed in the soils due to presence of permafrost were used to characterise the MIS3-MIS2 transition in the Austrian loess-paleosol exposures. Both types of indicators were used also to study late-Karga paleosols in the Middle Ob basin.

**Key Words:** cryopedogenesis, paleopedological cryotrasology, paleocryogenic environments, Pleistocene

### Введение: почвы как объект криотрасологии

Одна из ключевых идей криотрасологии состоит в расширении информационной базы для индикации, а затем и полноценной реконструкции криогенных процессов и обстановок для различных интервалов

геологического прошлого Земли (а в перспективе – и разнообразных космических тел). В настоящее время эти реконструкции реализуются, главным образом, на основании признаков непосредственного воздействия льда на различные компоненты природной среды. (Например – криогенные деформации, псевдоморфозы

по повторно-жильным льдам, признаки мерзлотного диспергирования горных пород и др.). В то же время огромный и еще малоисследованный объем палеокриологической информации это разнообразные косвенные признаки. Они вызваны модифицирующим воздействием криогенеза на геологические и биологические процессы, тела и системы (литосферные, биосферные, гидросферные, атмосферные), оказавшиеся в поле воздействия отрицательных температур, но не являющиеся облигатными элементами криосферы.

Почвенные системы – богатейший носитель как явных прямых (эвидентных), так и косвенных, обнаруживаемых при специальных исследованиях (латентных) индикаторов криолитогенеза. Почвы – самый верхний слой континентальной литосферы, преобразованный *in situ* под воздействием биоклиматических и геолого-геоморфологических факторов, влияющих через набор специфических почвообразовательных процессов. Почвы формируют глобальную оболочку земли – педосферу, и объектом нашего внимания является ее сектор, который можно рассматривать как подсистему криосферы на хроносрезе современности или криохронов в прошлом. В области многолетнемерзлых пород зона почвообразования практически совпадает с сезоннотальным слоем. Вне неё сезонномерзлый слой охватывает частично или полностью почвенный профиль.

Почвы – динамичный компонент земной коры, в том числе в области криолитозоны. В условиях многолетнего промерзания горных пород в почве происходят частые фазовые переходы в системе “лед-вода-пар” в различных сочетаниях этих компонентов. При этом криолитогенез контролирует и в значительной мере регулирует ход педогенетических процессов, формируя комплекс специфических признаков в породообразующей матрице почв. Крайне важно, что эти признаки сохраняются в почвах после их выхода из-под влияния криогенного педогенеза и из области криолитозоны вообще. Поэтому в погребенных палеопочвах такие признаки служат индикаторами былых криогенных обстановок.

Криопедогенные индикаторы разделяются на две группы. Во-первых, это эвидентные признаки воздействия криолитогенеза, воздействующего на почвообразование напрямую – они формируются под непосредственным влиянием отрицательных температур и процессов, ведущих к образованию и преобразованию в составе почвенного субстрата льда и превращению его в непосредственного участника педогенеза. Во-вторых, это латентные, порой – косвенные, признаки воздействия отрицательных температур, когда почвенные процессы могут развиваться и в безледных обстановках, но существенно модифицируются криолитогенезом.

Ниже нами рассмотрены примеры использования криопедогенных индикаторов, осуществленного при анализе позднеплейстоценовых почвенно-осадочных разрезов в различных регионах Европы и Западной Сибири. В первую очередь этот опыт важен для получения высокоинформативных данных, относящихся к перигляциальной зоне последнего оледенения.

## Результаты: 1 – шлировые текстуры как эвидентный индикатор палеокриогенных обстановок в профиле Микулинской почвы

Палеогеография на хроносрезе первого позднеплейстоценового термохрона (Казанцевское – Микулинское – Эемское – Сангамонское межледниковье) несмотря на обилие данных из разнообразных геологических, палеонтологических и археологических летописей, до сих пор остается предметом активных дискуссий. Одна из остро обсуждаемых тем – хронологические рамки и динамика похолодания на завершающем этапе данного термохрона. Большинство авторов разделяет точку зрения, что его длительность ограничивалась пределами морской изотопной подстадии 5e (~130 – 115 тыс. лет назад), однако нет полной ясности с динамикой финального похолодания из-за несовпадения данных различных летописей. Существует и концепция длительного термохрона, растягивающая его на всю изотопную стадию 5 (130 – 80 тыс. лет назад).

Носителями богатейшей информации о климатических циклах плейстоцена являются лёссово-почвенные толщи, занимающие значительные площади в Евразии. Содержащиеся в них палеопочвы формировались во время термохронов, соответственно их характеристики интерпретируются в качестве палеоэкологических индикаторов межледниковых эпох и, реже, интерстадиальных теплых периодов. Полигенетические модели почвообразования и криопедогенные индикаторы дают возможность повысить разрешение палеопедологических летописей и получить информацию о переходных этапах прогрессирующего похолодания.

В многочисленных лёссовых разрезах Европейской России Микулинскому межледниковью соответствуют хорошо развитые палеопочвы Салынского горизонта, входящие в состав Мезинского педокомплекса. В уникальном разрезе Александровский (Курская область) Микулинская палеопочва представлена прекрасно сохранившимся полным профилем дерново-подзолистой почвы. (Ретисоль по международной классификации WRB) [Сычева 1998]. Он включает горизонты: обугленной подстилки, гумусовый, элювиальный, серия глинисто-иллювиальных и завершающийся Днепровским лёссом – горизонтом почвообразующей породы. Данный профиль по основной совокупности морфологических, физико-химических и минералогических признаков вполне соответствует типу почвообразования, характерному для гумидных лесных экосистем умеренного климата, с нерегулярным и неглубоким промерзанием. Палеопочва перекрывается слоистым делювием с макроскопическими признаками криогенеза – псевдоморфозами по морозобойным трещинам, что трактуется как отражение начала холодной ледниковой эпохи. Резкость перехода между “теплой” палеопочвой и “холодным” делювием воспринимается как свидетельство быстроты и контрастности смены климата.

Наши микроморфологические исследования в шлифах ненарушенного сложения выявили характерную тонкоплитчатую (линзовидную) структуру почвенной



массы в элювиальном, переходном и верхнем иллювиальном горизонтах. Внутри линзовидных отделностей наблюдается дифференциация минеральных частиц по размеру: внутренние, особенно нижние части обогащены тонкодисперсным материалом, в то время как по краям, и особенно на верхних сторонах концентрируются крупнопылеватые зерна (рис.1)[*Sedov et al. 2013*]. Такие структуры хорошо известны в слоях, подвергающихся многократным циклам промерзания и оттаивания при оптимальной влажности. Формирование тонкоплитчато-линзовидной криотекстуры связано с сегрегационным льдообразованием, порождающим формирование тонких горизонтальных шлиров, разделяющих почвенную массу на линзовидные отделности. Перемещение более крупных частиц к порам также характерно для регулярно промерзающих грунтов.

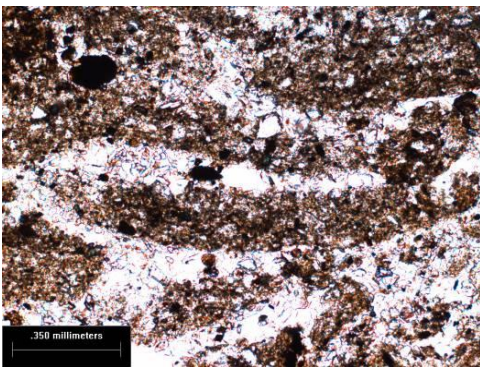


Рис. 1. Линзовидные агрегаты и дифференциация минерального материала по размеру в элювиальном горизонте Микулинской палеопочвы

Наблюдаемая совокупность признаков, по нашему мнению, индицируют ранние этапы похолодания – предвестники наступающего криохрона. Почва еще не подвергается деформации, сносу или погребению, в ней отсутствуют признаки многолетнего промерзания горных пород, но уже отслеживаются следы регулярного глубокого сезонного промерзания грунтов, генерирующего шлировые криотекстуры. Наши наблюдения хорошо согласуются с данными палеоботанических исследований (споропыльцевой и фитолитный анализ), которые продемонстрировали смену лиственных лесов хвойными бореальными лесами (тайгой) в конце периода формирования палеопочвы.

## Результаты: 2 – Глеевые палеопочвы переходного периода МИС3 – МИС2 как латентный криопедогенный индикатор

Морская изотопная стадия 3 (~60 – 25 тыс. лет назад) привлекает особое внимание палеоэкологов, так как в этом хроноинтервале произошло расселение человека современного типа из африканской прародины в Евразию и Австралию и формирование культур Верхнего палеолита. Известно, что это был относительно теплый период, в Европе ему соответствует Средневюрмский – Средневалдайский (Брянский) мега-интерстадиал, а в Сибири – Каргинский термохрон., возводимый некоторыми авторами в ранг межледниковья. Для МИС 3 также стоит проблема реконструкции ландшафтной обстановки, сложившейся в конце этой стадии, при переходе к МИС 2 – самой холодной стадии позднего плейстоцена, включающей ледниковый максимум.

В ряде лёссовых разрезов Западной и Центральной Европы именно последний криохрон плейстоцена оставил мощные толщи, включающие как слои чистых лёссов, так и слабообразованные, синлитогенные палеопочвы. Именно в пачках, соответствующих окончанию МИС3 и затем МИС2 появляются палеопочвы, имеющие признаки сильного оглеения – характерную неоднородную окраску с бледно-сизыми и яркими охристыми пятнами (рис.2). В немецкой литературе эти почвенные уровни получили название Tundragley или Naßboden – „мокрые“ почвы; они активно использовались для стратиграфических корреляций.

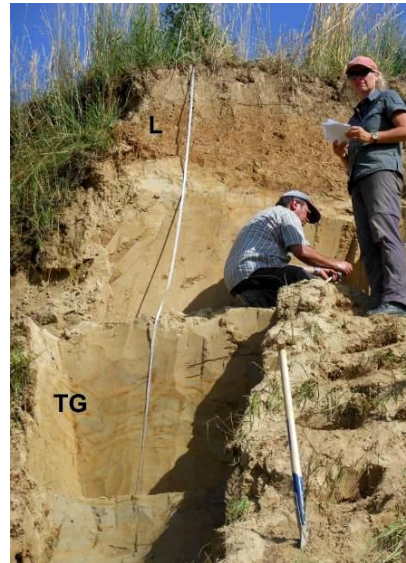


Рис. 2. Профиль Гундердинг, Верхняя Австрия; поверхностная голоценовая почва – Лювисоль без оглеения (L), погребенная глеевая палеопочва (TG); разделены карбонатным лёссом.

Перспективы более глубокой палеоэкологической интерпретации этих палеопочв открылись при их рассмотрении в качестве латентных криопедогенных индикаторов. При исследовании ряда австрийских лёссовых разрезов было установлено, что эти “тундраглеи” формируются в геоморфологических позициях, неблагоприятных для развития процесса оглеения. Как известно, этот процесс требует насыщения почвы влагой (гидроморфное почвообразование), что обеспечивает восстановительную обстановку. В этих условиях происходит мобилизация железа, которая ответственна за формирование глеевых признаков. В связи с этим глеевые почвы формируются обычно в понижениях или на плоских слабодренированных водоразделах, обеспечивающих переувлажнение. В полном противоречии с этими закономерностями, во всех изученных австрийских разрезах “тундраглеи” занимают наиболее дренированные позиции – верхние части склонов или выпуклые водоразделы. Никаких признаков современного застоя влаги там не было обнаружено, также не было признаков оглеения в других почвах разреза – вышележащих голоценовых Лювисолях и нижележащих Камбисолях МИС3. Геологические условия также не способствуют оглеению: лёссы являются пористыми породами с хорошим внутренним дренажем и содержат карбонаты, препятствующие мобилизации железа.

Эти противоречия стали основой для единственной приемлемой гипотезы формирования “тундраглеев” –

мерзлотной. Только горизонт многолетнемерзлых пород, являющийся водоупором, мог обеспечить в данных геолого-геоморфологических условиях застой влаги и "включение" процессов оглеения. Наш вывод подтверждает и наличие эвидентных криопедологических индикаторов: следов криотурбаций и солифлюкции.

Такой сценарий формирования почвенно-осадочной толщи предполагает сильное похолодание в период формирования глеевых палеопочв в лессах, начало которого совпадает с переходом МИС3 – МИС2. Это согласуется с данными иных глобальных и региональных геологических летописей [Terhorst et al. 2015].

Интересно, что в разрезах верхнепалеолитических местонахождений лёссового пояса Австрии (в т.ч. знаменитой стоянки Кремс-Вахтберг) находки в основном приурочены к неглеевым палеопочвам МИС3. Вышележащие «тундроглеи» МИС2 не содержат археологического материала. Видимо похолодание было достаточно сильным, чтобы вытеснить палеолитических охотников с данной территории.

Выявленные латентные криопедологические индикаторы древних мерзлотных обстановок особенно ценны для рассматриваемых территорий в связи с тем, что в них редко встречаются прямые индикаторы – псевдоморфозы по повторно-жильным льдам.

### Результаты: 3 – Палеопочвы Средней Оби в контексте новых моделей эволюции ландшафтов Сибири в плейстоцене

В ходе полевых работ 2013-2014 гг. в бассейне р. Вах (правобережье р. Оби) были впервые обнаружены хорошо сохранившиеся палеопочвы – там, где их раньше никто не искал! Причина в том, что в 1960-е гг. для этой территории была принята модель покровного оледенения, а ее отрицание большинством мерзлотоведов геологи четвертичного направления долгое время не принимали во внимание. Проблемой поиска палеопочв в Приполярной части Западной Сибири они просто не занимались, поскольку считалось, что их наличие в зоне краевой части мощного ледника нереально.

Палеопочвы были выявлены нами в хорошо выраженных разрезах 40-м террасы на большом ее протяжении. Самая молодая почва расположена под несколькими метрами слоистых озерно-аллювиальных отложений, и по ее органическому углероду получен  $^{14}\text{C}$ -возраст 25-27 тыс. лет назад, соответствующий концу МИС3. Палеопочвы в основании террасы дали запредельный для  $^{14}\text{C}$ -метода возраст. Над Каргинской почвой в песчаные осадки вкраплены эрратические валуны и галька, которые на наш взгляд являются результатом ледового разноса. При ингрессивном подтоплении и паводках главные реки подмывали спускавшиеся к предгорьям ледники и переносили вмержшие в лед обломки на междуречье Оби и Енисея.

Прекрасно сохранились полные профили палеопочв, которые во всех исследованных случаях состоял из темного гумусового и глеевого горизонтов. Гумусовый

горизонт содержит большое количество слаборазложившихся растительных остатков, особенно хорошо видных при микроскопировании шлифов. Данные признаки указывают на почвообразование в условиях переувлажнения. Поверхностная голоценовая почва – подзол без признаков гидроморфизма. Мы вновь, как и в Австрии столкнулись с необходимостью объяснить формирование глеевых почв в неблагоприятных геоморфологических условиях, а также резкое различие погребенной и поверхностной почв. Причина на наш взгляд в том, что древняя почва формировалась при наличии многолетнемерзлого водоупора по суглинкам, а современная – в более мягких условиях редко островной криолитозоны по хорошо дренированным пескам верхней части террасы, поднятых неотектоническими процессами на 40-м высоте.

### Заключение: перспективы палеопедологической криотрасологии

Приведенными примерами набор эвидентных и латентных криопедогенных индикаторов не ограничивается. Переход температуры через  $0^\circ\text{C}$  и кристаллизация льда оставляют разнообразные почвенные структуры на макро- и микроуровнях, связанные с льдовыделением или с иссушением при промерзании. Криогенное дробление минеральных зерен наиболее активно должно протекать в почвах с их частыми сменами промерзания и оттаивания. Этот процесс влияет на гранулометрический состав и оставляет следы на поверхностях минералов.

Оглеение – не единственный почвенный процесс, откликающийся на влияние криолитогеоза. Приобретает специфические признаки мерзлотных почв вторичное минералообразование. Процессы миграции веществ (в частности надмерзлотная аккумуляция ряда соединений) также находятся под контролем криолитогеоза. Эти и другие криопедогенные индикаторы способны долгое время сохраняться после погребения.

Палеопочвы – объекты, присутствующие в толщах большей части геохронологической шкалы, вплоть до архея. Палеопедологическая криотрасология, "обкатанная" на четвертичных объектах, может стать важным инструментом палеокриологических исследований на разных этапах истории Земли.

### Литература

- Сычева С.А. 1998. Новые данные о строении и эволюции мезинского лес-сово-почвенного комплекса Русской равнины. Почвоведение 10: 1177-1189.
- Sedov, S., Sycheva, S., Targulian, V., Pi T. & Díaz, J. 2013. Last interglacial paleosols with Argic horizons in Upper Austria and Central Russia – pedogenic and paleoenvironmental inferences from comparison with the Holocene analogues. E&G Quaternary Science Journal 62: 44-58
- Terhorst, B., Sedov, S., Sprafke, T., Peticzka, R., Meyer-Heintze, S., Kühn, P. & Solleiro Rebollo, E. 2015. Austrian MIS 3/2 loess-palaeosol records - Key sites along a west-east transect. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 418: 43-56.



## Об эффективности работы вертикальных термостабилизаторов для строительства на мерзлых грунтах

А.А.Селезнев, Я.Б.Горелик  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

На основе теоретического анализа внутренних процессов и внешнего теплообмена в вертикальном охлаждающем устройстве (именуемом также термостабилизатор), показано, что повышение эффективности работы устройства его оребрением лимитируется термическим сопротивлением пленки конденсата, стекающего по внутренней поверхности его корпуса. Эффективность оребрения существенно зависит от конкретного хладагента и меньше всего лимитируется при использовании в качестве хладагента аммиака. Приведена оценка предельной длины испарителя устройства. Получено граничное условие на стенке испарителя, являющееся базовым для расчета температуры в основании сооружений, возводимых с применением термостабилизаторов. Обсуждаются пути повышения эффективности применения термостабилизаторов при строительстве на мерзлоте.

**Ключевые слова:** двухфазные течения; испаритель; конденсатор; охлаждение; термическое сопротивление; теплообмен; термостабилизатор.

## About Working Affectivity of the Vertical Thermostabilizer for Building on Permafrost

A.A.Seleznev, J.B.Gorelik  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

The theoretical study of the interconnected processes of the internal heat and mass transfer and external heat exchange in the vertical cooling device (named as thermostabilizer or Long's tube) which is used in the building on permafrost is done in this article. It is shown, that the increasing of the device affectivity by its finning is limited by thermal resistance of the condensed film on the internal surface of its corp. The finning affectivity is essentially depends on the concrete cooling agency and it is limited smallest for ammonia. The assessment of the device evaporator maximum length is done. The condition of the condensed film zero thick in the evaporator bottom lays in the base of this assessment. The basic boundary condition on the external evaporator wall was established. This condition allows to solve a lot of tasks for computation the temperature fields in frozen ground in the base of the construction developed with using thermostabilizers. The ways of the increasing the device affectivity is discussed.

**Key Words:** biphasic streams; condenser; cooling; evaporator; thermal resistance, thermostabilizer

### Введение

Среди различных типов охлаждающих устройств наиболее широкое применение нашли вертикальные двухфазные естественно – конвективные устройства с относительно короткой подземной частью (длиной до 10-15 метров), известные также как термостабилизаторы [Регулирование... 1983; Макаров 1985; Системы... 2014]. Прототипом такого устройства является охлаждающая трубка Лонга [Long 1964] (рис.1).

Считается, что эффективность охлаждения заметно улучшается применением оребрения конденсаторной части (что повсеместно наблюдается на практике). Вместе с тем, согласно имеющимся теоретическим представлениям (см., например, [Арнольд и др. 1979]) при теплообмене между двумя средами оребрение должно устанавливаться со стороны среды с наилучшими теплофизическими характеристиками. В надземной части теплообмен с атмосферой эффективно осуществляется конвективным путем, а передача тепла со стороны грунта (с довольно низким коэффициентом теплопроводности)

осуществляется кондуктивно и достаточно сложно утверждать об эффективности применяемого оребрения без проведения специальных исследований. С другой стороны, отсутствуют данные, демонстрирующие повышение производительности термостабилизатора за счет оребрения. Настоящая работа направлена на прояснение указанного вопроса.

### Анализ процессов

Расчет термостабилизатора базируется на совместном рассмотрении течения и фазовых превращений хладагента внутри устройства и процессов внешнего теплообмена с грунтом и атмосферой. Ранее этот подход реализован для неоребреного устройства [Горелик 1980], что позволило получить условие 3-го рода на внешней стенке испарителя. Однако, при наличии оребрения вывод этого условия должен быть уточнен.

При наличии оребрения главным фактором, ограничивающим теплопередачу от конденсатора к атмосфере, является термическое сопротивление стекающей по его внутренней поверхности пленки

конденсата. Сравнение этого сопротивления с внешним сопротивлением теплопередачи (от корпуса конденсатора к атмосфере) приводит к требованию:

$$\Phi \equiv \frac{\alpha_k \cdot S_k}{S_{ik}} \cdot \left( \frac{3^4 \cdot v_c \cdot \Delta t_{sa} \cdot l_1}{4^3 \cdot \lambda_c^3 \cdot \kappa_c \cdot g \cdot \rho_c} \right)^{\frac{1}{4}} \leq 1 \quad (1)$$

где:  $R_l$ ,  $l_1$  – радиус корпуса конденсатора и его длина,  $S_{ik}=2\pi R_l l_1$ ;  $S_k$  – полная площадь внешней поверхности конденсатора;  $\alpha_k$  – внешний коэффициент теплоотдачи от конденсатора в атмосферу (определяется стандартными методами);  $\Delta t_{sa}=t_s - t_a$ ;  $t_s$ ,  $t_a$  – температура насыщения паров хладагента и температура воздуха;  $\lambda_c$ ,  $v_c$ ,  $\rho_c$ ,  $\kappa_c$  – теплопроводность, кинематическая вязкость, плотность и теплота парообразования пар – жидкость для хладагента;  $g$  – ускорение свободного падения. Левая часть этого неравенства характеризует как тип хладагента, так и конструкцию конденсатора. В случае неоребреного конденсатора имеем:  $S_{ik}=S_k$ . Для  $R_l=16$  мм,  $l_1=1,5$  м и при скорости ветра 3 и 8 м/с соответствующие значения  $\alpha_k$ , равны 26,4 и 58,3 Вт/м<sup>2</sup>град, а величина  $\Phi$  (в этих двух случаях) принимает значения (при  $\Delta t_{sa}=20^\circ\text{C}$ ): для аммиака  $\Phi_{ам}=8,26 \cdot 10^{-3}$ ;  $1,83 \cdot 10^{-2}$ ; для фреона –12  $\Phi_{фр12}=1,50 \cdot 10^{-1}$ ;  $3,33 \cdot 10^{-1}$ ; для фреона –22  $\Phi_{фр22}=1,04 \cdot 10^{-1}$ ;  $2,31 \cdot 10^{-1}$ ; для углекислоты  $\Phi_{co2}=2,63 \cdot 10^{-2}$ ;  $5,79 \cdot 10^{-2}$ . Таким образом, при отсутствии оребрения вкладом пленочного сопротивления можно пренебречь для всех представленных здесь хладагентов. На этом основании в статье [Горелик 1980] сделан вывод об отсутствии влияния хладагента на работу устройства.

Для оребренного конденсатора величина  $\Phi$  зависит от параметров оребрения. При скорости ветра 5 м/с зависимости  $\Phi$  от толщины ребра для различных хладагентов приведены на рис.2. Для выбранной конструкции конденсатора неравенству (1) удовлетворяет аммиак (для всех толщин ребра). Несколько хуже этому условию удовлетворяет углекислота. Для фреонов оребрение эффективно только для очень тонких ребер, изготовление которых может вызвать определенные трудности. На рис.3 показано изменение толщины пленки в зависимости от толщины ребра для аммиака и фреона-12. Видно, что пленка аммиака тоньше не менее, чем в 5 раз. Учитывая, что коэффициент теплопроводности аммиака выше чем у фреона –12 примерно в 8 раз, пленочное сопротивление для аммиака оказывается примерно в 40 раз меньше.

Расчет толщины пленки вдоль испарительного участка (как и для участка конденсации) производится на основе теории Нуссельта [Михеев Михеева 1873] с учетом процесса испарения и при фиксированной температуре грунта на внешней стенке испарителя  $t_g$ . Испарение пленки приводит к непрерывному ее утоньшению вплоть до полного исчезновения на некоторой глубине. Исчезновение пленки естественным образом связано с предельной длиной испарителя для конкретного хладагента. Выражение для предельной длины  $l_2$ :

$$l_2 = \delta_0^4 \cdot \frac{\kappa_c \cdot \rho_c \cdot g}{4 \cdot \lambda_c \cdot \Delta t_{gs} \cdot v_c} \quad (2)$$

$\delta_0$  – толщина пленки на входе в испаритель (совпадающая со значением на выходе из конденсатора). Принимая для параметра теплоотдачи конденсатора  $\alpha_k \cdot S_k / S_{ik} \equiv F$  значения 40, 200 и 400 Вт/м<sup>2</sup>град (характерные значения этой величины показаны на рис. 4), получим для аммиака  $l_2=1,7$ ; 6,0 и 11,9 м соответственно. Для фреона –12 предельная (расчетная) длина может достигать 200 м. Значительная величина предельной длины испарителя для фреонов может оказаться их существенным преимуществом при некоторых условиях применения стабилизаторов. Иногда могут быть применены устройства с длиной испарителя большей чем предельное значение. Однако, в этом случае заправку устройства хладагентом необходимо рассчитывать таким образом, что бы нижняя часть испарителя (до предельной отметки) была заполнена жидкой фазой.

### Внешняя задача для термостабилизатора

Главным вопросом при расчете температуры грунта является вывод граничного условия на стенке испарителя. Его вывод основан на уравнении интегрального баланса тепла, и имеет вид:

$$\frac{\alpha_k \cdot S_k}{S_{isp}} \cdot (t_a - t_g) = -\lambda_f \cdot \left( \frac{\partial t}{\partial r} \right)_{R_1} \quad (3)$$

$S_{isp}$  – площадь испарителя,  $\lambda_f$  – теплопроводность грунта. Соотношение (3) отличается от ранее полученного видом параметра теплоотдачи  $F_{tot} \equiv \alpha_k \cdot S_k / S_{isp}$ , что обобщает его на случай оребренного стабилизатора (без оребрения  $F_{tot} = \alpha_k \cdot l_1 / l_2$ ). С учетом (3) постановка задачи о расчете температуры грунта в основании сооружений становится замкнутой. В частности, могут быть рассчитаны температуры на стенке испарителя в активный период его работы и плотность теплового потока к его стенке. Эти характеристики приведены на Рис. 5, 6 при трех значениях параметра  $F_{tot} = 10$ ; 66 и 116 Вт/м<sup>2</sup>град (первое из них характерно для неоребреного конденсатора). Видно, что расчетные параметры слабо изменяются со временем. Кроме того, при более чем десятикратном изменении  $F_{tot}$  температура на стенке меняется всего вдвое, а тепловой поток увеличивается не более чем в 2,5 раза. Это связано с плохими теплопроводящими свойствами грунта. На рисунках 7, 8 показаны аналогичные кривые для гипотетического грунта с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_f = 30$  Вт/м град при тех же значениях  $F_{tot}$ . Видно, что величины изменяются пропорционально значению  $F_{tot}$ . Если принять  $\lambda_f = 0$ , то температура на стенке испарителя достигнет минимальной величины (равной  $t_a$ ), а тепловой поток обратится в ноль при любом  $F_{tot}$ . Поскольку интенсивность и величина охлаждения грунта являются основными показателями эффективности применения термостабилизаторов, то использование развитых оребренных частей должно соотноситься с возможностями грунта принять и перераспределить поступающее в него тепло.

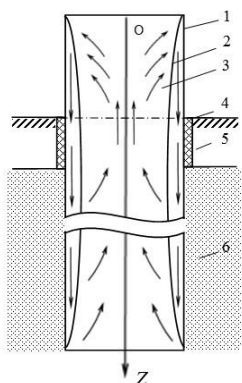


Рис. 1. Принципиальная схема двухфазного термостабилизатора:  
1 — трубчатый корпус;  
2 — теплоизоляция;  
3, 4 — хладагент в жидкой и паровой фазах;  
5 — деятельный слой грунта;  
6 — мерзлое основание.

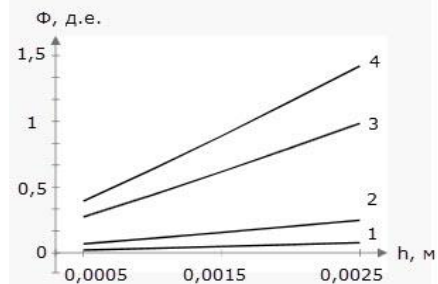


Рис. 2. Поведение параметра сравнения  $\Phi$  как функции толщины ребра  $h$  для различных типов хладагента ( $R_f=16$  мм,  $l_f=1,5$  м,  $s=0,01$  м,  $A=10$ ): 1-аммиак; 2-  $CO_2$ ; 3- фреон -22; 4- фреон -12.

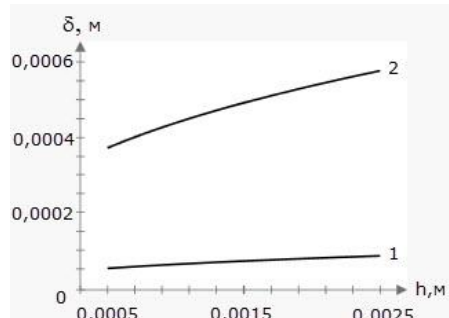


Рис. 3. Зависимость толщины пленки  $\delta$  на внутренней поверхности конденсатора от толщины ребра  $h$  для аммиака (1) и фреона-12 (2).

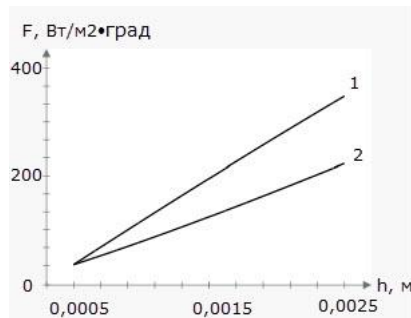


Рис. 4. Поведение параметра теплообмена конденсатора  $F$  как функции толщины ребра  $h$  ( $R_f=16$  мм,  $l_f=1,5$  м,  $s_1=0,005$  (1) м,  $s_2=0,01$  (2) м,  $A=10$ ).

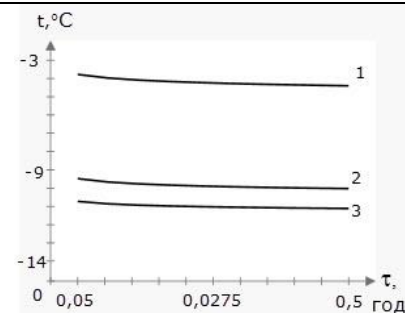


Рис. 5. Зависимость температуры на стенке испарителя  $t$  от времени работы устройства  $\tau$  для различных значений параметра теплоотдачи,  $Вт/м^2град$ : 10 (1); 66 (2); 116 (3).

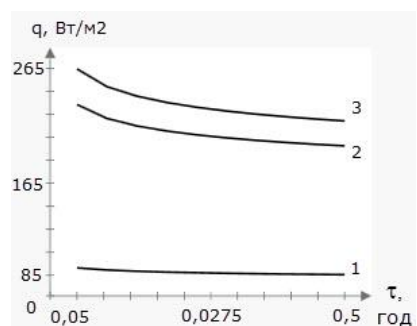


Рис. 6. Зависимость величины теплового потока  $q$  от времени работы устройства  $\tau$  для различных значений параметра теплоотдачи,  $Вт/м^2град$ : 10 (1); 66 (2); 116 (3).

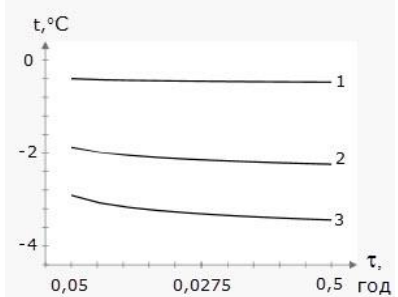


Рис. 7. Зависимость температуры на стенке испарителя  $t$  от времени работы устройства  $\tau$  для гипотетического грунта (пояснения в тексте) при различных значениях параметра теплоотдачи,  $Вт/м^2град$ : 10 (1); 66 (2); 116 (3).

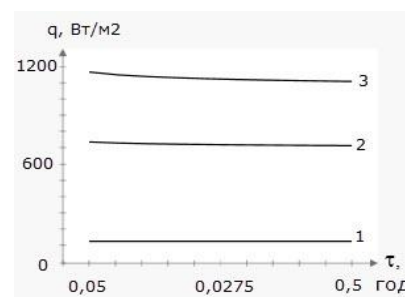


Рис. 8. Зависимость величины теплового потока  $q$  от времени работы устройства  $\tau$  для гипотетического грунта (пояснения в тексте) при различных значениях параметра теплоотдачи,  $Вт/м^2град$ : 10 (1); 66 (2); 116 (3).

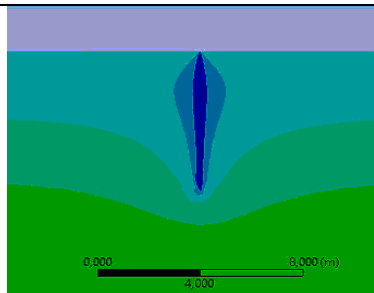


Рис. 9. Температурное поле в зоне действия отдельного термостабилизатора в конце зимнего периода ( $F=116$   $Вт/м^2 град$ ), пояснения в тексте.

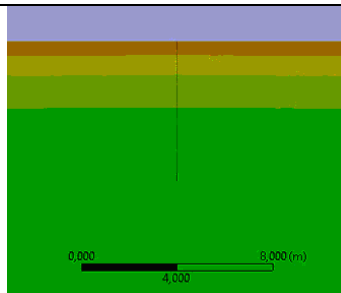


Рис. 10. Температурное поле в зоне действия отдельного термостабилизатора в конце летнего периода ( $F=116$   $Вт/м^2 град$ ), пояснения в тексте.

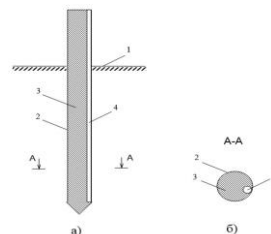


Рис. 11. Применение неорбренного термостабилизатора: 1-поверхность грунта; 2-корпус трубчатой сваи; 3 – пескобетон; 4-корпус термостабилизатора.

## Об эффективности применения термостабилизаторов в строительстве

Основной проблемой при строительстве на многолетнемерзлых грунтах является понижение их температуры до проектного значения и поддержание этого состояния на весь срок эксплуатации сооружения. При использовании термостабилизаторов следует иметь в виду, что дополнительное охлаждение, которое получает грунт в активный период работы устройства практически полностью исчезает в конце лета. Результаты численного решения этой задачи для однородного полупространства (с одиночным термостабилизатором при  $F_{\text{tot}}=116 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$ ) приведены на Рис. 9, 10. Начальная температура грунта  $t_0=-1^\circ\text{C}$ . Интерес представляет только действие термостабилизатора, поэтому верхнее граничное условие достаточно задать в виде постоянной температуры, равной  $t_0$ . Условие постоянства температуры на глубине нулевых амплитуд (без технических устройств) выполняется автоматически. Динамика температуры воздуха в течение года задается независимо от температуры грунта. В течение зимы  $t_a$  постоянна и равна среднезимнему значению ( $t_a=-15^\circ\text{C}$ ). В этот период на стенке испарителя задается условие (3). В течение лета на испарителе задается нулевой тепловой поток. Расчетная область цилиндрической формы с радиусом 30 м и 40 м в глубину. Каждый из размеров значительно превышает радиус теплового влияния от источника тепла в расчете на один год. На этих границах тепловой поток равен нулю. Рис. 9 показывает распределение температуры в зоне действия одиночного стабилизатора в конце зимы. Средняя температура стенки испарителя достигает значения  $-13^\circ\text{C}$ . В конце лета охлаждающий эффект практически исчезает (рис.10), а средняя температура испарителя возвращается к начальному значению  $-1^\circ\text{C}$  (с точностью до десятой доли градуса).

Вместе с тем, согласно нормативным документам, несущая способность фундаментов определяется по максимальной (в течение года) температуре грунтов. В силу низкого остаточного охлаждения, накопленный в зимнее время холод не может быть учтен в проектах на строительство, а идет лишь в запас прочности сооружения. Однако, расчеты показывают, что при охлаждении протяженных в плане сооружений, когда в основании устанавливается значительное количество устройств, величина остаточного охлаждения увеличивается до градусов [Горелик Измайлов 1984]. Этот эффект подтвержден экспериментами на полигоне в районе г. Воркута [Александров 1985]. Важным является то, что величина эффекта слабо зависит от

мощности отдельного устройства [Горелик 2005]. Это создает преимущества для применения неоребранных термостабилизаторов. Отпадает необходимость бурения

скважин для установки устройств в грунт. Взамен они могут быть размещены целиком (включая конденсаторную часть) в корпусе несущей сваи [Горелик и др. 2015] (рис.11). В подпольях освобождаются проходы, повышается эстетический вид зданий. Стоимость устройств снижается, поскольку для оребрения как правило используются цветные металлы и специальная технология стыковки с корпусом.

## Литература

- Александров Ю.А. Охлаждение пластично- мерзлых грунтов кустовой системой парожидкостных СОУ // Материалы Всесоюзного совещания "Геокриологический прогноз при строительном освоении территории". – Воркута, Госстрой СССР, 1985, кн. 2, с. 283-286.
- Арнольд Л.В., Михайловский Г.А., Селиверстов В.М. Техническая термодинамика и теплопередача. – М.: Высшая школа, 1979, 445 с.
- Горелик Я.Б. Расчет температурного поля грунта вокруг парожидкостной термосваи // Проблемы нефти и газа Тюмени, 1980, вып. 47, с. 58-61.
- Горелик Я.Б. Свайный фундамент для капитальных сооружений северных месторождений // Газовая промышленность, 2005, № 1, с. 82 – 84.
- Горелик Я.Б., Измайлов И.Г. Предпостроечное охлаждение грунтов с применением термосвай // Проблемы нефти и газа Тюмени. Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1984, вып. 61, с. 85-88.
- Горелик Я.Б., Мельников В.П., Фахретдинов И.З., и др., Устройство для термостабилизации грунтов // Патент РФ № 150908, 2015.
- Макаров В. И. Термосифоны в северном строительстве. Новосибирск, Наука, 1985, 169 с.
- Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973, 320 с.
- Регулирование температуры грунтов основания с помощью сезоннодействующих охлаждающих устройств // Отв. ред. С. С. Вялов. ИМ СО РАН – Якутск, 1983, 124 с.
- Системы температурной стабилизации грунтов оснований в криолитозоне // Труды ученых и специалистов ООО НПО "Фундаментстройаркос" за 2010 – 2014 г.г. / Под ред. Г.М. Долгих, 2014. – Новосибирск, "ГЕО", 218 с.
- Long E. L. Means for Maintaining Permafrost Foundations, Patents USA, № 3, 217, 791, Cl. 165 – 45, 1964.

## Криолитозона углеводородных месторождений Лено-Вилуйской нефтегазоносной области

В.П.Семенов, М.Н.Железняк

*Институт мерзлотоведения им.П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН), Якутск*

### Реферат

Дана характеристика криолитозоны одного из месторождений Лено-Вилуйской нефтегазоносной области – Средне-Вилуйского ГКМ. Получены и приведены новые данные о мощности многолетнемерзлой толщи месторождения. Построены схема нижней границы многолетнемерзлых пород и серия мерзлотно-геотермических разрезов, характеризующие особенности геотемпературного поля месторождения. Выявлены значительные колебания мощности криолитозоны в пределах месторождения. Установлено отсутствие прямой зависимости мощности криогенной толщи и параметров продуктивного горизонта в пределах месторождения.

**Ключевые слова:** Геотермические измерения; мощность криолитозоны; многолетнемерзлая толща; продуктивный горизонт; Средне-Вилуйское месторождение; температура горных пород.

### Thickness of the Permafrost at the Oil-Gas-Fields of the Lena-Vilyui Petroleum Province

V.P.Semenov, M.N.Zheleznyak

*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia*

### Abstract

In this paper it was presented the results of a study to characterize the permafrost in the Middle Vilyui condensate field located in the Lena-Vilyui Petroleum Province. New data on permafrost thickness were obtained for the study area. Data obtained were used to construct a schematic map and geothermal cross-sections depicting the permafrost base and ground temperature distribution. The study indicated strong variations in permafrost thickness within the area. No direct correlation was found to exist between the permafrost thicknesses from the producing zone parameters within the Middle Vilyui gas field.

**Key Words:** Middle Vilyui gas field; geothermal measurement; ground temperature; permafrost thickness; producing zone.

### Введение

Лено-Вилуйская нефтегазоносная область считается одним из наиболее крупных углеводородных сырьевых регионов Дальнего Востока РФ. Количество открытых месторождений, их резервы, дальнейшая подготовка по развитию здесь сырьевой базы для добычи и транспортировке газа и перспективность в нефтегазоносном отношении определяют важную, экономическую роль территории в обеспечении энергетической безопасности региона. Вся Лено-Вилуйская нефтегазоносная область характеризуется суровыми природно-климатическими условиями со сплошным распространением многолетнемерзлых толщ, что обуславливает практическую значимость геокриологических исследований.

С 2009 г. Институтом мерзлотоведения СО РАН в рамках программы «Исследование закономерностей формирования геотемпературного поля и криолитозоны Сибирской платформы» возобновлены геотермические работы в данном регионе. Цель исследований – выявление особенностей распространения многолетнемерзлых толщ и оценка их мощности. В пределах Лено-Вилуйской нефтегазоносной области одним из наиболее изученных участков в этом плане является Средне-Вилуйское газоконденсатное месторождение.

### Общие сведения

Средне-Вилуйское месторождение в административном положении относится к Республике Саха (Якутия) и расположено в 60 км к востоку от г. Вилуйска и входит в Лено-Вилуйскую нефтегазоносную область (рис.1). Оно было открыто в 1965 году, а в промышленном освоении находится с 1985 года и является, в настоящее время, основным объектом добычи газа в Республике Саха (Якутия).



Рис.1. Схема района исследований

Месторождение приурочено к одноименной локальной структуре на Средневиллойско-Толонском куполовидном поднятии, осложняющем западный склон Хапчагайского мегавала. Стратиграфически месторождение приурочено к бергеинской свите (верхняя юра) и представляет собой фрагмент брахиантиклинальной складки субширотного простирания размером 34x22 км и амплитудой около 350 м. Месторождение относится к категории многозалежных. Промышленные притоки газа получены из платса P<sub>2</sub>-Ia тарагайской толщи, из пласта T<sub>1</sub>-III таганджинской, из горизонтов T<sub>1</sub>-II, T<sub>1</sub>-Ia и T<sub>1</sub>-I кызылсырской, J<sub>3</sub>-II нижневиллойской, J<sub>3</sub>-I марыкчанской свит [Тектоника... 2001].

Климат района, как и во всей центральной Якутии резкоконтинентальный. Климатообразующими факторами здесь выступают приуроченность к относительно высоким северным широтам, преобладание западного и восточного переноса воздушных масс, а также плоская равнинная поверхность. По метеостанции г. Виллойск среднегодовая температура воздуха составляет -9,3°C. Среднемесячные показатели температуры воздуха холодного периода имеет значение -26,7°C, тепло 8,1°C. Максимум осадков приходится на теплый период (апрель-октябрь) и составляет более 75 %, в июле выпадает 46 мм, в июле 41 мм. Холодный период (ноябрь-март) засушливый – в декабре 15 мм, в марте 9 мм осадков [Научно-прикладной справочник... 1989].

### Результаты исследований

В период проведения настоящих исследований на месторождении геотермические измерения выполнены в 6 скважинах (№86, 50, 30, 29, 28 и 12), глубиной от 20 до 1200 метров (рис.2). Температура горных пород по полученным данным варьирует на глубине 20 метров от -0,14 до -1,6°C, на глубине 500 м от -0,1 до -1,04°C, на глубине 900 м от 9,8 до 13,7°C и на глубине 1200 м от 20,6 до 23,3 °C. По характеру температурных кривых (изменение температуры с глубиной) выделяется четыре интервала различающиеся величиной и знаком градиента температуры [Семенов Железняк 2013].

Установлены значительные колебания мощности многолетнемерзлых толщ (ММТ) на данном месторождении, где она варьирует по полученным данным от 500 до 630 метров (рис.2). В таблице 1 положения нижней границы многолетнемерзлой толщи месторождения наряду с данными геотермических исследований приведены данные установленные по геофизическому каротажу скважин. Граница ММТ по каротажу представляется как контакт двух пластов большой мощности, в которых изменение фазового состояния поровой влаги приводит к различию в физико-химических процессах.

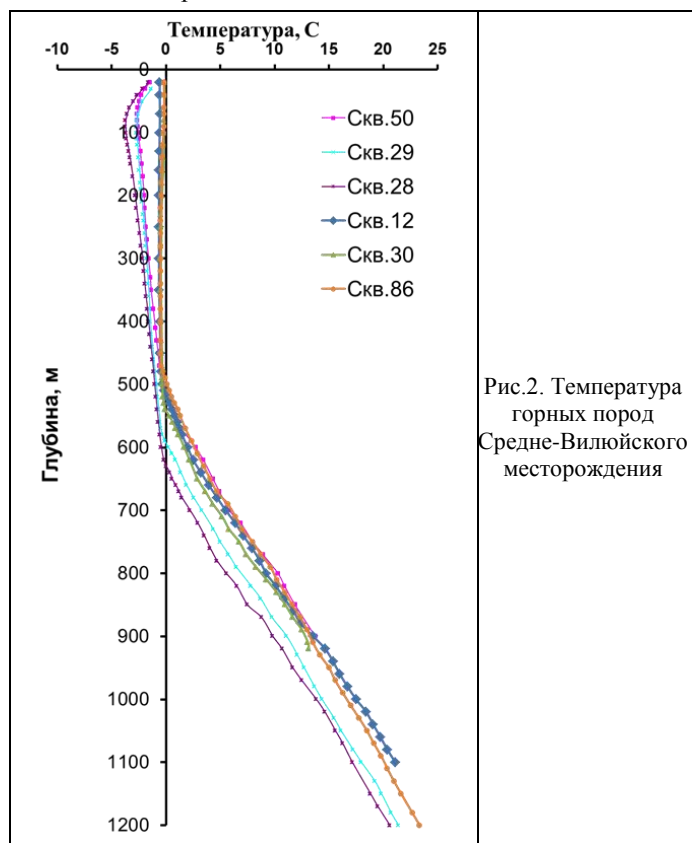
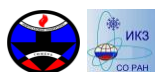


Рис.2. Температура горных пород Средне-Виллойского месторождения

Таблица 1. Данные нижней границы криогенной толщи Средне-Виллойского месторождения

п/п	Номер скв.	Абс. отм. скв.	Мощность ММП	Абс. отм. подошвы ММП	Метод определения	п/п	Номер скв.	Абс. отм. скв.	Мощность ММП	Абс. отм. подошвы ММП	Метод определения
1	20	107	460	353	ПС	13	2	106	580	474	КМ,ПС
2	16	95	560	465	ПС	14	3	95	500	405	ПС
3	19	95	510	415	ПС	15	4	98	560	462	ПС
4	8	147	560	413	КМ,ПС	16	10	95	450	355	КМ
5	1-Ю	100	500	400	ПС	17	28	160	630	470	ТМ
6	11	91	560	469	ПС	18	29	150	590	440	ТМ
7	13	134	480	346	ПС	19	30	94	540	446	ТМ
8	15	92	480	388	КМ	20	50	86	510	424	ТМ
9	5	94	480	386	ПС	21	86	95	500	405	ТМ
10	6	105	480	375	ПС	22	12	100	510	410	ТМ
11	7	103	460	357	КМ,ПС	23	12	100	510	410	КМ
12	14	165	570	405	КМ						

км – квернометрия; пс – самопроизвольная поляризация; тм – термометрия.





На этом основании были определены мощности мерзлых горных пород в 16 скважинах, расположенных в пределах месторождения. Такой анализ материала каротажных исследований по определению нижней границы ММТ по нефтегазовым месторождениям впервые был выполнен Б.В. Володько [1976]. Подтверждающим фактором в достоверности интерпретации геофизических данных является оценка мощности криолитозоны по скважине №12, где по геотермическим данным она составляет 510 м, а по геофизическому каротажу 515 метров.

По данным выполненных исследований и интерпретации каротажных материалов мощность многолетнемерзлой толщи в пределах Средне-Вилуйского месторождения изменяется от 460 до 630 м при среднем значении 510 метров. По имеющимся данным составлены схематическая карта положения нижней границы ММТ (рис.3) и мерзлотно-геотермический разрез (рис. 4) по месторождению.

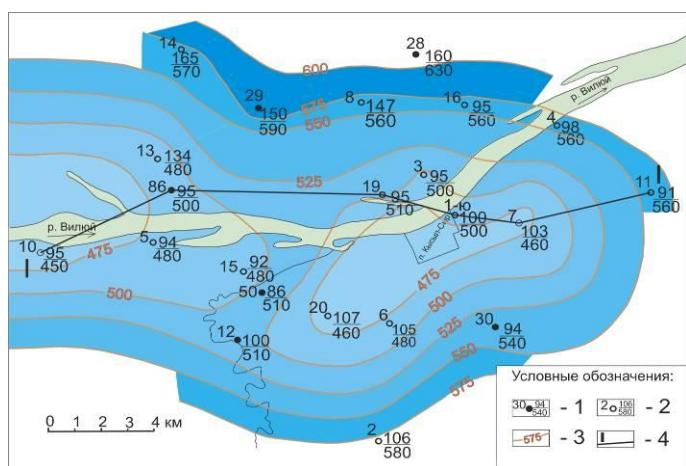


Рис.3. Схема нижней границы ММТ в пределах Средне-Вилуйского месторождения

1 – Скважина и ее номер, сверху абсолютная отметка, внизу мощность ММТ по данным термометрии; 2 – Скважина и ее номер, сверху абсолютная отметка, внизу мощность ММТ по данным геофизического каротажа; 3 – изогипсы мощности ММТ; 4 – линия мерзлотно-геотермического разреза.

Существенные колебания мощности ММТ на углеводородных месторождениях по версии Г.Д. Гинсбурга [1971], Б.В. Володько [1978] обуславливаются влиянием продуктивных горизонтов на внутриземный тепловой поток и как следствие его перераспределение в разрезе. На основании имеющегося материала по Средне-Вилуйскому месторождению проведен корреляционный анализ зависимости мощности криогенной толщи и параметров продуктивного горизонта. На рисунке 5 приведены схема эффективной мощности продуктивного горизонта ( $T_1$ -III) и совокупность точек характеризующих связь абсолютных отметок нижней границы ММТ с мощностью продуктивного горизонта. Коэффициент корреляции в данном случае равен 0,0099 при однопроцентном уровне значимости. Так же выполнен анализ с другим параметром продуктивного

горизонта – с абсолютными отметками залегания его кровли. Коэффициент корреляции при этом равен 0,0324 и как в предыдущем случае является не значимым.

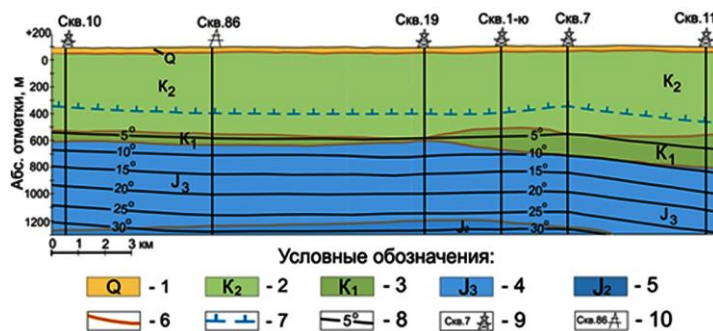


Рис.4. Мерзлотно-геотермический разрез по линии I-I.

1 – Четвертичные отложения (Q) песок, супесь, суглинков; 2 – Верхний мел (K2) песчаники с прослоями алевролитов и аргиллитов; 3 – Нижний мел (K1) песчаники с прослоями алевролитов, аргиллитов, лигнита, бурых и каменных углей; 4 – Верхняя юра (J3) песчаники с чередованием аргиллитов с алевролитами; 5 – Средняя юра (J2) песчаники с чередующимися пластами и пачками алевролитов и глин; 8 – изотерма, °С; 9 – Скважина ее номер, где мощность ММТ оценена по геофизическому каротажу; 10 – Скважина ее номер, где мощность ММТ оценена по геотермическим исследованиям.

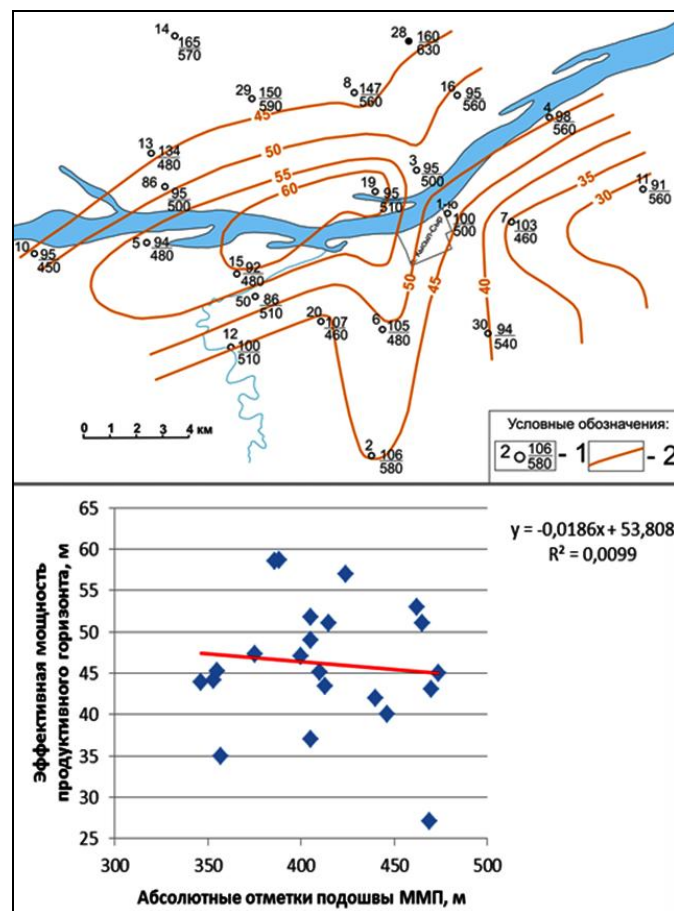


Рис.5. Схема эффективной мощности продуктивного горизонта и совокупность точек корреляционного анализа

## Выводы

Таким образом, установленная по скважинам разница мощности ММТ на Средне-Вилуйском месторождении напрямую не зависит от параметров продуктивного горизонта, вероятно, это связано с глубоким, более 2 км залеганием продуктивного горизонта. Выявленные колебания мощности мерзлых толщ, в пределах месторождения, связаны с конвективным неравномерным распределением теплового поля в подмерзлотной толще вызванным локальными дизъюнктивными нарушениями геологического разреза. Эта особенность, выявленная для Средне-Вилуйского месторождения, имеет повсеместное распространение на территории Лено-Вилуйской нефтегазоносной области. Это подтверждается выполненными геотермическими исследованиями в регионе по ряду газоконденсатных месторождений. Так на Средне-Тюнгском и Мастахском месторождениях по полученным данным мощность криогенной толщи изменяется от 580 до 670 м и от 570 до 610 м соответственно.

## Литература

- Володько Б.В. Использование метода ПС при определении мощности мерзлых терригенных толщ. // В кн.: Региональные и теплофизические исследования мерзлых горных пород в Сибири. Якутск, 1976, с. 212-214.
- Гинсбург Г.Д. Геотермическая характеристика района. – В кн.: Геология и нефтегазоносность Енисей-Хатангского прогиба. – Л., 1971, с. 73 – 82.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. – серия 3, вып. 24., кн.1, – Л., 1989.
- Семёнов В.П., Железняк М.Н. Геотермические условия Вилуйской синеклизы // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII. №4 С.3-10.
- Тектоника, геодинамика и металлогенез территории Республики Саха (Якутия). – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.



## Некоторые особенности кристаллизации льда в микробиологических системах

О.А.Симонов, Е.О.Симонова, А.М.Субботин  
Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

### Реферат

С целью проверки воздействия микроорганизмов из многолетнемерзлых пород на процесс кристаллизации была собрана и опробована установка для измерения температур фазового перехода жидкость-лед а так же отработана методика проведения такого эксперимента. Суспензию микроорганизмов помещали в предварительно охлажденную баню криотермостата и фиксировали изменение температуры пробы в зависимости от времени. В результате экспериментов получены термограммы ряда последовательных циклов заморозки – оттаивания для двух различных штаммов бактерий из ММП, по которым проведено сравнение динамики фазового перехода в сравнении с замерзанием дистиллированной воды. Установлено существенное влияние "истории" биологически активной пробы на динамику фазового перехода.

**Ключевые слова:** антифризные белки, бактерии, экстремофилы, кристаллизация, лед

### Some Features of Ice Nucleation in Microbiological Systems

O.A.Simonov, E.O.Simonova, A.M.Subbotin  
Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia

### Abstract

To test antifreeze proteins of microorganisms from the permafrost has been made experimental setup for measuring the temperature of ice nucleation and made methodology for conducting such an experiment. The suspension of microorganisms was placed in a pre-cooled bath thermostats and made temperature's measurement versus time. The experiments yielded thermogram series of nucleation – melting cycles for two different strains of bacteria from the permafrost on which the comparison of the dynamics of nucleation in comparison with the nucleation of distilled water. In result was proved impact "stories" biologically active samples on the dynamics of the ice nucleation.

**Key Words:** antifreeze proteins, bacteria, extremophiles, nucleations, ice

### Введение

Влияние белковых соединений, выявленных из крови рыб живущих в полярных и приполярных широтах на процесс образования льда было открыто более 50 лет назад. С тех пор "охота" за "антифризными" белками не останавливается, к настоящему времени обнаружено множество таких соединений у представителей разных таксонов. Способность антифризных белков понижать температуру замерзания воды позволяет уменьшить механическое повреждение тканей препятствуя образованию крупных кристаллов льда [Бильданова 2012; Davies 2014], что позволяет различным существам выживать в условиях низких температур. Установлено, что это влияние определяется тем, что антифризные белки обволакивают зародыши кристаллизации, замедляя тем самым скорость их роста.

Комплексное изучение свойств бактерий извлеченных из многолетнемерзлых пород (ММП) в течении нескольких лет проводится в ТюмНЦ СО РАН. В рамках этих работ было сделано предположение, что существовать, то есть сохраняться и оставаться метаболически активными, в порах ММП при температуре близкой к 0°C, этим бактериям -

экстремофилам позволяют определенные физиологические и биохимические реакции в результате которых вырабатываются антифризные белки. Действительно, съемка сканирующим электронным микроскопом грунтовой пробы ММП (выполнена специалистами ТГНУ (Курчатова А.Н.) с использованием технической базы ТГНУ) показала, что бактерии расположены цепочкой в порах мерзлоты и окружены незамерзшей жидкой оболочкой. Кроме этого, неоднократно было замечено, что в результате кристаллизации водных растворов бактериальной суспензии на поверхности льда иногда появляется тонкий слой незамерзшей жидкости. Нашими коллегами были проведены наблюдения за кристаллизацией водной суспензии некоторых штаммов бактерий из ММП. Отмечено, что помещенные в морозильную камеру холодильника пробирки с образцами штаммов не замерзают в течении длительного времени. При этом наиболее ярко антифризные свойства проявил штамм Mg8. Именно по этому он и был выбран для дальнейшего исследования. К сожалению, результаты этих экспериментов остались неопубликованными.

В связи с тем, что изучения влияния бактерий из ММП на физико- механические свойства их суспензий не

проводилось, было решено начать цикл соответствующих работ, в частности, проверить вырабатывают ли эти бактерии антифризными вещества. Для этого была собрана специальная установка и отработана методика эксперимента.

### Материалы и методы

Схема установки для исследования процесса кристаллизации бактериальной суспензии представлена на рисунке 1.

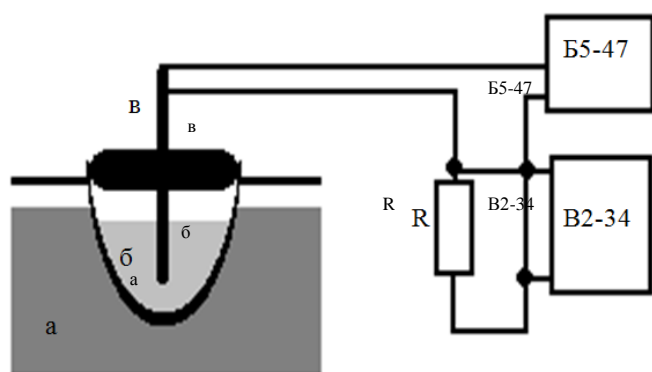


Рис.1. Схема криоустановки для изучения динамики кристаллизации бактериальной суспензии.

Замораживаемая суспензия (б) помещается в полиэтиленовую емкость с пенопластовой крышкой (в) и устанавливается в баню криотермостата julabo F25 заполненного автомобильным тосолом (а). Для всех опытов термостат выставлялся на температуру  $-17,5^{\circ}\text{C}$ . В крышку экспериментальной емкости вмонтирован высокоомный бусинковый терморезистор (СТ1-19) на стеклянной ножке (в) с диапазоном рабочих температур от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+300^{\circ}\text{C}$ . Измерительная бусинка терморезистора находится в центре объема охлаждающей жидкости. В экспериментах фиксировалось изменение напряжения на тестовом сопротивлении в зависимости от времени охлаждения. Напряжение измерялось дифференциальным вольтметром В2-14. Питание цепи задавалось источником постоянного тока ВЗ-47, измерения проводились при напряжении 25В. Все приборы стабилизировались стабилизатором напряжения ЕСN-560. Датчики калибровались по ртутному термометру, значения между калибровочными точками интерполировались кубическими сплайнами. Погрешность измерения определяется ценой деления вольтметра, ценой деления ртутного термометра и точностью интерполяции. Оценивается погрешности  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  в диапазоне температур выше  $-5^{\circ}\text{C}$  и  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  при меньших температурах.

Эксперимент проводился в двух опытных вариантах со штаммами 2/09 и Mg8 и одним контрольным с дистиллированной водой. Бактерии для эксперимента культивировали на мясопептонном агаре (ТУ 9385-001-64786015-2012, г. Углич) при температуре  $+36^{\circ}\text{C}$ . Смывы бактерий производили дистиллированной водой в объеме 5 мл. Микробную взвесь доводили методом серийных разведений до рабочей концентрации  $1 \times 10^9$  для штамма 2/09 и  $1 \times 10^{12}$  микробных клеток в 1 мл. для штамма Mg8.

Начальный объем охлаждаемой жидкости для всех вариантов эксперимента был равен 20 миллилитрам. Бактериальная суспензия помещалась в экспериментальный контейнер, который устанавливался в уже охлажденный термостат.

### Результаты и обсуждения

Результаты экспериментов представлены в виде термограмм, которые показывают изменение температуры в зависимости от времени охлаждения опытного образца жидкости. За точку отчета времени принято время фазового перехода (рис.2).

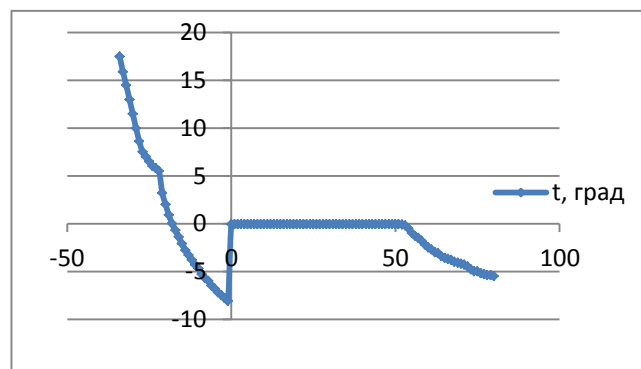


Рис.2. График кристаллизации дистиллированной воды. Горизонтальная ось - время эксперимента (мин.), вертикальная - температура в градусах Цельсия.

График имеет три характерные области; охлаждение жидкости, кристаллизация льда и охлаждение льда. В первой области, при температурах  $7-5^{\circ}\text{C}$  наблюдается некоторое замедление темпов охлаждения вероятно вызванное конвективным движением жидкости в измерительной емкости. Действительно, при температурах ниже  $4^{\circ}\text{C}$  плотность воды начинает уменьшаться, что приводит к всплыванию на поверхность более холодных слоев. Из-за быстрого темпа охлаждения вода значительно переохлаждалась (до  $-7,8^{\circ}\text{C}$ ), далее скачкообразно начинается кристаллизация, температура поднимается до  $0^{\circ}\text{C}$ . После завершения кристаллизации образец охлаждается, температура его становится меньше нуля.

Суспензию штамма 2/09 подвергали замораживанию и оттаиванию 3 раза (рис.3). График первого цикла не значительно отличается от графика замораживания дистиллированной воды. Можно отметить только более раннее охлаждение кристаллизованного льда, на поверхности которого наблюдается незамерзшая пленка жидкости. После окончания измерений контейнер с суспензией извлекался из термостата и сутки оставался при комнатной температуре. Второй цикл замораживания бактерий практически полностью повторил первый, ни каких значимых изменений не зафиксировано. Между вторым и третьим циклом прошло двое суток, причем бактерии находились в комнате температура в которой была около  $15^{\circ}\text{C}$ . Термограммы для третьего цикла значительно отличается от первых двух. Во-первых; при охлаждении изменился вид графика, "полочка" стала

менее заметной и сместилась ниже по температуре (более чем на 1 градус), во-вторых; степень переохлаждения суспензии возросла, фазовый переход начался при  $-9,3^{\circ}\text{C}$ , в-третьих; кристаллизация началась при температуре  $-0,6^{\circ}\text{C}$ , в-четвертых; при кристаллизации температура все время увеличивалась, стремясь к  $0^{\circ}\text{C}$ ; в-пятых; охлаждение льда началось значительно раньше и в-шестых; объем незамерзшей жидкости на поверхности льда значительно увеличился.

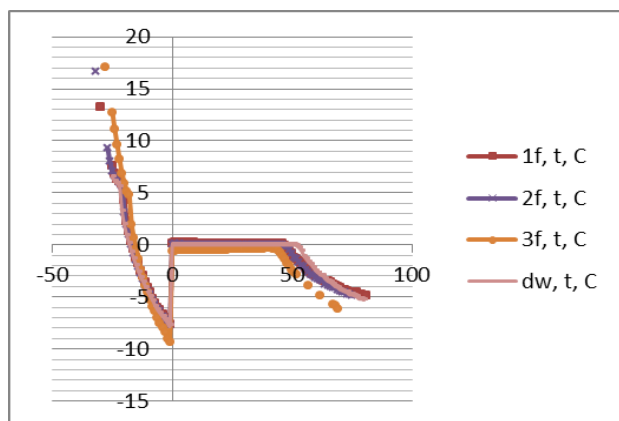


Рис. 3. Графики циклической кристаллизации микробной суспензии штамма 2/09. Горизонтальная ось - время эксперимента (мин.), вертикальная - температура в градусах Цельсия.

Суспензию штамма Mg8 замораживали два раза, поведение кривой температуры в зависимости от времени характерно для замораживания дистиллированной воды (рис.4), следует отметить только меньшее переохлаждение ( $-6,9^{\circ}\text{C}$ ) и плавное, понижение температуры во время процесса кристаллизации (на  $0,3^{\circ}\text{C}$ ). Второе замораживание было проведено через двое суток после первого, суспензия находилась в комнате при температуре около  $15^{\circ}\text{C}$ . Термограмма второго замораживания выявила значительные отличия; так же как для штамма 2/09, изменилось поведение системы при охлаждении, уменьшилась температура переохлажденной суспензии до  $-9,5^{\circ}\text{C}$ , упала температура начала кристаллизации ( $-2,1^{\circ}\text{C}$ ), в процессе кристаллизации температура постепенно поднималась (до  $-1^{\circ}\text{C}$ ). Стоит отметить, что в данном случае, вся помещенная в контейнер суспензия полностью замерзла.

Полученная информация позволяет с уверенностью констатировать, что при определенных условиях у суспензии содержащих бактерии штаммов 2/09 и MG8 изменяется динамика процесса кристаллизации. Кроме того, изменение поведения температурной кривой на стадии охлаждения жидкости косвенно свидетельствует об изменении реологических свойств суспензии. Действительно, повышение вязкости должно уменьшить влияние конвекции и сделать кривую падения температуры более гладкой, что мы и наблюдаем.

Влияние бактерий на процесс кристаллизации суспензии может происходить по тому, что:

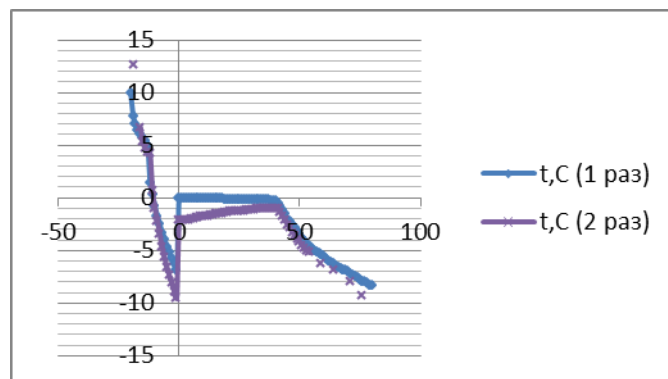


Рис. 4. График циклической кристаллизации водной суспензии бактерий штамма Mg8. Горизонтальная ось – время эксперимента (мин.), вертикальная – температура,  $^{\circ}\text{C}$

а) В суспензии находятся полимеры образованные в процессе метаболизма бактерий, которые при неоднократной криообработке, за счёт водородных связей, создают в суспензии гелеобразные конгломераты (криогели), по примеру того как это происходит с поливиниловым спиртом. Причем эти полимеры могут быть продуктом нормального метаболизма бактерий, но скорее всего вырабатываются бактериями в экстремальных условиях.

б) Создавая криопротекторную оболочку вокруг себя, бактерии могут взаимодействовать друг с другом, создавая различные конгломераты, что существенно изменит свойства суспензии.

в) Продукты метаболизма бактерий, обладая поверхностно-активными свойствами, блокируют зародыши кристаллизации, замедляют рост кристаллов.

## Вывод

В определенных условиях микроорганизмы выделенные из ММП, а именно бактерии штаммов 2/09 и MG8 влияют на поведение водной суспензии на их основе при её кристаллизации.

Это влияние выражается:

а) в задержке начала кристаллизации, в следствии чего увеличивается степень переохлаждения воды;

б) в кристаллизация происходит при более низкой температуре (ниже нуля).

## Литература

- Бильданова, Л.Л., 2012. Основные свойства и особенности эволюции антифризных белков/ Л.Л.Бильданова, Е.А. Салина, В.К. Шумны//Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2012. - No 1.Т.16. – С.250-270.
- Davies, P.L 2014. Ice-binding proteins: a remarkable diversity of structures for stopping and starting ice growth/ Peter L. Davies // Trends in Biochemical Sciences -2014. – No 11 Vol. 39. – pp. 548-555.

## Возраст отложений и строение верхней залежи пластового льда м. Марре-Сале.

Е.А.Слагода, О.Л.Опокина

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

На ключевом геокриологическом участке Западного Ямала (мыс Марре-Сале) на основе комплексного мониторинга одних и тех же разрезов на ежегодно отступающих берегах изучены морфология ледяных тел, их строение и соотношения между собой, возраст и деформации вмещающих отложений. Среди криогенных образований по морфологии выделены жильные, клиновидные, трещинные льды, верхняя и нижняя залежи сложных пластовых льдов. Установлено, что верхняя залежь инъекционно-сегрегационного льда характеризуется фрагментарной сохранностью, разнообразием форм и размеров, деформирует верхнесартанские и нижнеголоценовые отложения вместе с сингенетическими полигонально-жильными льдами.

**Ключевые слова:** пластовые, полигонально-жильные льды; возраст отложений.

### Age of the Sediments and Structure of the Upper Massive Ice Body, Cape Marre-Sale

E.A.Slagoda, O.L.Opokina

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Morphology of the ice bodies, their structure and relation between them, age and deformations of host strata were studied in the key geocryological area of Western Yamal (Cape Marre-Sale). A comprehensive monitoring of the section was conducted in the slope, which retreat annually. Wedge, wedge-shaped, fissure ices, upper and bottom massive ice body were allocated by morphology among the cryogenic structures. The upper injective-segregation massive ice is characterized by fragmented preservation, variety of forms and sizes and deforms Upper-Neopleistocene – Holocene sediments with syngenetic polygon wedge ice.

**Key Words:** age of the sediments; massive ice body; polygon wedge ice.

### Введение

Изучение мерзлых толщ и подземных льдов Западного Ямала на одних и тех же разрезах в районе мыса Марре-Сале продолжается более 60 лет. За этот период у разных исследователей сложились противоречивые представления как о возрасте и строении отложений, так и морфологии залежей подземного льда, об их соотношениях между собой и с вмещающими породами [Дубиков *Корейша* 1964, Дубико, 2002; Втюрин 1975; Баулин и др. 1967; Геокриологический словарь 2003; Фотиев 2003; 2014, Данилов 1990]. Спорными остаются вопросы о генезисе жильных и пластовых льдов, выдвинуты диаметрально противоположные гипотезы о геокриологической истории региона [Кузин Астафьев 1975, Трофимов и др. 1987, Каплянская Тарноградский 1982, Геокриология СССР 1989; Гатауллин 1990, Fortan et al. 2002; Астахов 2006; Крицук 2010; Каневский Стрелецкая Васильев 2005, Стрелецкая и др. 2006; Стрелецкая и др. 2012, Слагода Мельников Опокина 2010]. В последнее время выполнены повторное изучение морфологии подземных льдов, их соотношений с вмещающими четвертичными отложениями и с элементом поверхности III–й равнины.

### Основные результаты исследований

В строении мерзлых толщ III–й равнины в районе Марре-Сале (рис.1) установлены морфологические разновидности подземного льда:

- нижняя пластовая слоистая залежь с крупными складками, залегающая в глинах внизу разреза;
- верхняя пластовая залежь с многочисленными лакколитами, штоками, залегающая в песках и супесях, в основном, над глинами верху и в середине разреза;
- мелкие купольные, клиновидные, трещинные и слоисто-трещинные формы, секущие верхнюю залежь; – жильные льды [Слагода и др. 2012].

Установлены генетические типы перечисленных криогенных образований. Нижняя залежь, распространенная на юге обнажения отнесена к первичным сегрегационным льдам. Верхняя залежь отнесена к вторичным инъекционно-сегрегационным льдам, и связана с промерзанием замкнутых таликов. Выделены полигонально-жильные льды (ПЖЛ), образованные в ходе морозобойного растрескивания. Клиновидные, слоисто-трещинные слоистые лакколиты отнесены к поздним генерациям вторичных

инъекционно-сегрегационных, миграционных льдов, связанных с промерзанием остаточных таликов и ростом бугров пучения [Kurchatova Opokina Slagoda 2012].

Связь морфологических разновидностей льда в северной и южной частях разреза м. Марре-Сале, и приуроченность к верхней залежи льда оставались не доказанными, поскольку залежь льда характеризуется изменчивым строением и фрагментарным распространением.

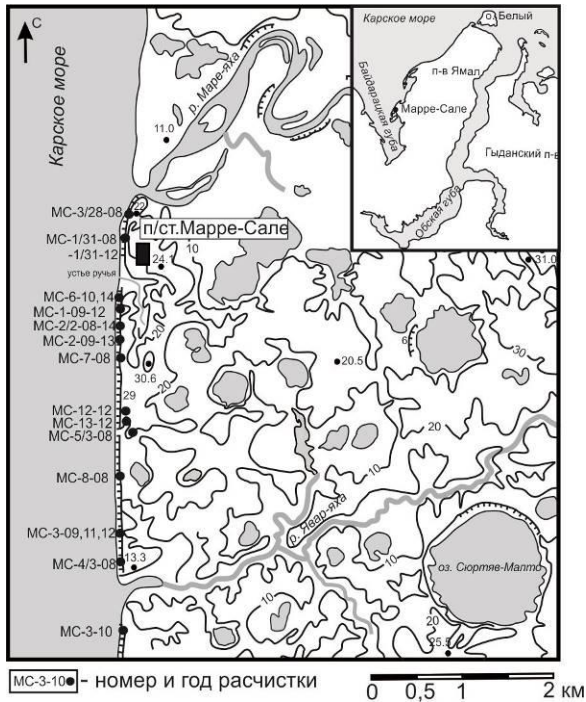


Рис. 1. Район повторного изучения береговых разрезов с пластовыми льдами в 2008-2014 гг.

**На севере обнажения** и бортах р. Марре-Яха, в верхней части уступа высотой 20-24 м, преобладают наклонные клиновидные, трещинно-слоистые формы льда. Внизу они неразрывно связаны с вертикальными трещинами льда, пересекающими подстилающие глины до уреза моря и ниже. Анализ морфологии ледяных тел вскрывавшихся в термоцирках в 2008-2012 гг, выявил, что в плане они выходили в виде разделенных льдистыми песками одной широкой или нескольких узких дуг. Эти дуги являются фрагментами колец льда диаметром 8-16 м внутри полигонов. Форма и размеры льда в субвертикальных стенках термоцирков менялись от вертикальных стенок и широких котловидных жил до кривых клиновидных тел, которые местами расщеплены на отдельные прослои (рис.2, А). Над кровлей глин льды образуют расширения луковичной и линзовидной формы, от которых ниже в глины продолжаются трещинные льды (по вертикали более 3-5 м) и железненные трещины - «подводящие каналы».

Расширенные части этих ледяных тел залегают в песках и супесях с многочисленными сизыми пятнами и нитевидными корешками, возраст которых составил на глубине 4,0-5,0 м  $9690 \pm 120$  лет СОАН-8811, на глубине 1,5-1,8 м  $7405 \pm 100$  лет СОАН-8810.

Ледяные клинья и слоисто-трещинные льды имеют секущие соотношения с ПЖЛ и местами оплавляют их сбоку и снизу. Эти тела деформируют слоистость вмещающих отложений: разрывают, задирают вверх слои песков, супесей и кровлю подстилающих суглинков с прослоями алевритов.

Сверху слоисто-трещинные, клиновидные льды и ПЖЛ вместе с вмещающими песками размыты, на глубине 0,8-1,4 м перекрыты покровным горизонтом с криотурбациями, линзами аллохтонных растительных остатков. Талая торфяная жилка на глубине 0,9-1 м имеет возраст  $7355 \pm 90$  лет СОАН-8809; почвенно-растительный слой на глубине 0,2 м  $1505 \pm 45$  лет СОАН-8808. Судя по близости радиоуглеродных дат торфяные слои и линзы формировались при участии растительных остатков из подстилающих песков и вытаявших льдов.

По-видимому, до вытаивания сверху, слоисто-трещинные, клиновидные ледяные тела, образовывали мелкие купола льда (слоистые гидролаколиты) в блоках грунта между оплавленными ПЖЛ.

**В центре разреза** м. Марре-Сале в обнажении высотой 24-28 м, под покровным горизонтом ниже границы размыва на глубине 0-1,5 м вскрывались ПЖЛ, клиновидные ледяные тела и верхняя залежь льда с субгоризонтальными, полого-наклонными участками и вертикальными выступами разной формы - штоками, лакколитами. Верхняя залежь пересечена трещинами, клиновидными, часто наклонными и изогнутыми телами, а так же мелкими лакколитами льда. ПЖЛ не пересекают верхнюю залежь, поскольку оплавлены сбоку и снизу.

Анализ изменения выходов ледяных тел в стенках отступающих термоцирков за 2008-2012 гг позволил уточнить их морфологию. Массивные штоки и лакколиты верхней залежи, сложенные волнисто-слоистым льдом, в плане имеют кольцевое строение (прослои льда и минеральных примесей образуют замкнутые кольца), овальную и круглую форму размеры до 10-15 м, хаотичное и шахматное распределение (см. рис. 2.Б). Поэтому в разные годы, по мере отступления термоцирков, верхняя залежь льда выглядела то, как единый субгоризонтальный пласт, то как пласт со складками или горизонтальный слой, осложненный штоками и лакколитами. В разрезах видно, что штоки вертикального размера до 5-7 м., приурочены, в основном к блокам грунта между ПЖЛ. Горизонтальные участки верхней залежи льда, в большинстве случаев, приурочены к границе между песками и глинистыми отложениями.

Южнее, в пределах водораздельной поверхности высотой 30-33 м, верхняя залежь льда погружается до уреза моря, залегают в верхней части глин (рис.2,В). В разрезе субвертикальные слои льда (высотой 10-15 м) имеют непрерывную связь с горизонтальными участками льда и представляют собой расходящиеся вверх «ветви» верхней залежи. На контакте со слоистыми лакколитами глины задраны вверх на 3-5 м., между расходящимися ветвями отмечены защемленные нижележащие глины и мелкие инъекции глин и льда. В плане выходы льда

имеют вид дуг шириной до 1,5 м и являются фрагментами слоистых лакколлитов диаметром 20-40 м.

Кроме того удалось реконструировать форму клиновидных ледяных тел, секущих верхнюю залежь льда сверху. Так в 2008-2009 гг., это были выходы в виде узких 5-15 см трещин, в 2010-2011 гг. они выходили в виде наклонных кривых и котловидных жил, которые окончаниями (в виде узких трещин) внедрялись в верхнюю залежь льда, в 2012 г, вскрылись сомкнутые сверху клиновидные тела - мелкие лакколлиты. Отмечено, что и отдельные ПЖЛ пересечены косыми шлирами льда – трещинами с ожелезнением. Поскольку эти образования сопряжены с очень льдистым слоем озерных осадков в верхней части разреза, можно предполагать, что это остатки частично размытых гидролакколлитов бугров пучения [Основы геокриологии 1996].

ПЖЛ, клиновидные, трещинные тела, слоистые лакколлиты и гидролакколлиты бугров пучения сверху размыты и перекрыты покровным горизонтом. Возраст песчано-алевритовых отложений вмещающих верхнюю залежь льда надежно датирован по автохтонным нитевидным корешкам, мхам и веточкам кустарничков от  $13310 \pm 120$  СОАН-8543 на глубине 6,5-7,0 м до  $5200 \pm 110$  лет СОАН-7942 на глубине 1,6 м, а по литературным данным может быть удревлен до 16 тыс. лет [Forman et al. 2002; Стрелецкая и др. 2012].

Покровный горизонт с криотурбарциями включает сверху торфяные жилы, внизу линзы аллохтонного уплотненного торфа, почвенно-растительный слой

развеян. Торф из просадки над ПЖЛ имеет возраст  $7700 \pm 120$  лет СОАН-7940 на глубине 1,1 м (древнее автохтонных растительных остатков из вмещающих отложений), а аллохтонный торф на глубине 1,0-1,2 м  $13020 \pm 150$  лет СОАН-8807. Инверсия дат аллохтонных остатков над размытой кровлей верхней залежи льда указывает на переотложение более древней органики при протаивании этих льдов и вмещающих отложений.

Верхняя залежь льда снижена под термоэрозийными ложбинами и отсутствует в пределах заросших термоцирков, под оврагами и хасырями. Так, на сниженных останцах поверхности III-й равнины в 2012-2014 гг., вблизи ручья полярной станции, верхняя залежь отсутствует. Сохранились выступы малольдистых складчатых глинистых отложений, симметрично облекаемые песками с растительными остатками, и крупные скопления песков с вертикальной, коробчатой складчатостью - следы протаивания верхней залежи. На юге разреза м. Марре-Сале в обнажении высотой 15-25 м, в пределах осушенного хасыря, над нижней залежью пластового льда, верхней залежи и ПЖЛ не установлено. Здесь, под покровным горизонтом залегают льдистые озерные отложения и таберальный комплекс - уплотненные смятые в складки, деформированные ожелезненные супеси с прослоями песков и посткриогенными сетчатыми текстурами.

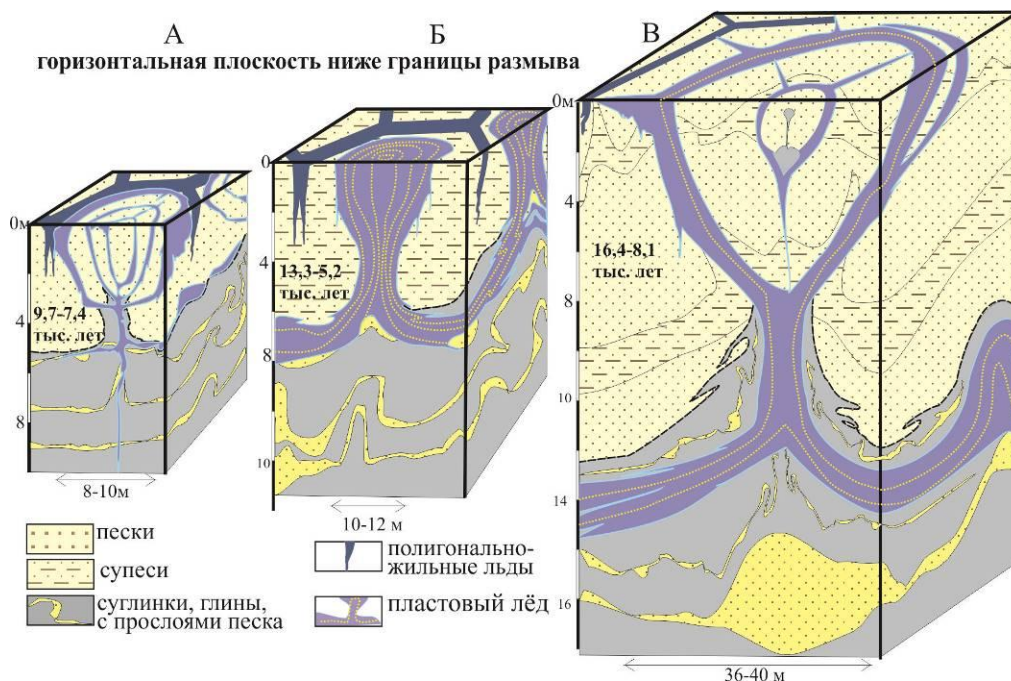


Рис.2. Схема дифференциации форм пластового льда верхней залежи в верхнесартанских-нижнеголоценовых отложениях III-й морской равнины м. Марре-Сале: А – северная часть обнажения, высота 16-20 м; Б – центральная часть обнажения, высота 24-28 м; В – центральная часть обнажения, высота 30-33 м.

## Заключение

Установлена дифференциация строения и период формирования верхней залежи льда в разрезе м. Марре-

Сале. В северной и центральной частях разреза ледяные тела залегают в разновозрастных сартанско-голоценовых песках и с размытом перекрыты покровным горизонтом.





Верхняя залежь представлена: на севере – слоисто-трещинными лакколитами, в центре – субгоризонтальным слоем со штоками и лакколитами, южнее – горизонтальными слоями льда с крупными слоистыми лакколитами. Отложения, вмещающие верхнюю залежь льда, накапливались неравномерно по площади и непрерывно по времени – от 16 до 5 тыс. лет. Поскольку вмещающие отложения деформированы в мерзлом состоянии, а ПЖЛ оплавлены, формирование верхней залежи произошло во второй половине голоцена.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ14-17-00131.

### Литература

- Астахов В.И. О хроностратиграфических подразделениях верхнего плейстоцена Сибири. // Геология и геофизика, 2006, т. 47, № 11, с. 1207–1220.
- Баулин В.В., Белопухова Е.Б., Дубиков Г.И. и др. Геокриологические условия Западно-Сибирской низменности. – М.: Наука, 1967, 214 с.
- Втюрин Б.И. Подземные льды СССР. – М.: Наука, 1975, 215 с.
- Гатауллин В.Н. Пластовые льды западного побережья п-ва Ямал: их строение, состав и происхождение. // Геокриологические исследования в арктических районах. – Тюмень, ИПСО СО АН СССР, 1990, вып. 1, с. 3–11.
- Геокриологический словарь. – М.: ГЕОС, 2003, 140 с.
- Геокриология СССР. Западная Сибирь. М., Недра, 1989, 454 с.
- Данилов И.Д. Подземные льды. – М.: Недра, 1990, 140 с.
- Дубиков Г.И., Корейша М.М. Ископаемые – инъекционные льды на полуострове Ямал. // Известия АН СССР, Сер. геогр., 1964, № 5, с. 58–65.
- Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. – М.: ГЕОС, 2002, 246 с.
- Каневский М.З., Стрелецкая И.Д., Васильев А.А. Закономерности формирования криогенного строения четвертичных отложений Западного Ямала (на примере Марре-Сале). // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 3, с. 16–27.
- Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д. Ледниковые образования в районе полярной станции Марре-Сале на п-ве Ямал. – Л., ВСЕГЕИ, 1982, т. 319, с. 77–85.
- Крицук Л.Н. Подземные льды Западной Сибири. – М., Научный мир, 2010, 352 с.
- Кузин И.Л., Астафьев Н.Ф. Криогенные дислокации на западном побережье полуострова Ямал. // Известия ВГО, 1975, т. 107, № 6, с. 510–515.
- Основы геокриологии, часть 2, Лито-генетическая геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 1996
- Слагода Е.А., Мельников В.П., Опокина О.Л. Повторно-инъекционные штоки льда в отложениях Западного Ямала. // ДАН, 2010, т. 432, № 2, с. 264–266.
- Слагода Е.А., Опокина О.Л., Курчатова А.Н., Рогов В.В. Строение и генезис подземных льдов в верхнеплейстоцен-голоценовых отложениях мыса Марре-Сале (Западный Ямал). // Криосфера Земли, №2, 2012. -С.9-22.
- Стрелецкая И.Д., Каневский М.З., Васильев А.А. Пластовые льды в дислоцированных четвертичных отложениях Западного Ямала. // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 2, с. 68–78.
- Стрелецкая И.Д., Гусев Е.А., Васильев А.А. и др. Подземные льды в четвертичных отложениях побережья Карского моря как отражение палеогеографических условий конца неоплейстоцена - голоцена // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2012. № 72. С. 28-59.
- Трофимов В.Т., Бадю Ю.Б., Васильчук Ю.К. и др. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. М., Наука, 1987, 224 с.
- Фотиев С.М. Генезис пластов льда в морских отложениях Ямала. // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 1, с. 63–75.
- Фотиев С.М. Залежи пластового льда в районе полярной станции Марре-Сале (западное побережье полуострова Ямал) // Криосфера земли, 2014, т. XVIII, № 2, с. 34-46.
- Forman S.L., Ingolfsson O., Gataullin V., et all. Late Quaternary stratigraphy, glacial limits, and paleoenvironments of the Marresale area, western Yamal Peninsula, Russia. // Quaternary Res, 2002, v. 57, p. 355–370.
- Kurchatova A.N., Opokina O.L., Slagoda E.A. Tenth International Conference on Permafrost (TICOP): Resources and Risks of Permafrost Areas in a Changing World. Ground Ice of the Marre-Sale Cape (West Yamal). TICOP Excursion Guidebook. – Tyumen, Russia: Pechatnik, 2012. – 42 p.



## Новые инсоляционные периоды и последние похолодания в плиоцене

И.И.Смульский

Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Астрономическая теория изменения климата основывается на решениях трех проблем: эволюций орбитального и вращательного движений и изменении инсоляции. Все три задачи решены по-новому с использованием более точных методов. Полученные колебания инсоляции в 7 - 8 раз превышают колебания инсоляции в прежних теориях. Новые колебания инсоляции сопоставлены с изменением палеоклимата в Западной Сибири в позднем плиоцене. Показано, что они согласуются. Приведены инсоляционные периоды изменения палеоклимата за 200 тыс. лет назад и даны их характеристики.

**Ключевые слова:** астрономическая теория; колебания инсоляции; палеоклимат; периоды.

### New Periods of Insolation and Last Ice Ages in the Pliocene

J.I.Smulsky

Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

The astronomical theory of climate change is based on three problems: the evolution of the orbital and rotational movements and changes of insolation. All three problems have been solved by using the more accurate methods. The resulting fluctuations of insolation in 7 - 8 times are higher the fluctuations of insolation in previous theories. New insolation fluctuations are compared with change of the paleoclimate in Western Siberia in the late Pliocene. It was shown that they are consistent. The insolation periods of paleoclimatic change and their characteristics are given for 200 thousand years ago.

**Key Words:** astronomical theory; fluctuations; insolation; paleoclimate; periods

### Введение

В начале 20<sup>ого</sup> века Милутин Миланкович [1939] создал Астрономическую теорию изменения климата. В ней на основании трех параметров: эксцентриситета  $e$  орбиты Земли, углового положения перигелия  $\varphi_{py}$  и угла наклона  $\varepsilon$  плоскости орбиты к плоскости экватора Земли рассчитывается инсоляция Земли на разных ее широтах. В астрономическую теорию климата Земли составными частями входят задачи об орбитальном и вращательном движении Земли и задача об инсоляции Земли в зависимости от параметров ее орбитального и вращательного движения.

Решения М. Миланковича последовательно повторяли несколько поколений исследователей, например [Lascar et al 2004]. Однако все они шли одним и тем же путем, который за столетия сложился в небесной механике. Мы пошли другим путем. Мы не копировали уравнения предшественников, а сами их выводили из первоначальных основ [Смульский 2014]. Во-вторых, при выводе стремились ввести минимальные упрощения. И, в-третьих, задачи решались численными методами, при этом использовались самые высокоточные их варианты или создавались новые. По первой и третьей задачам наши независимые исследования подтвердили исследования предшественников. А результаты вращательного движения – другие [Смульский 2014]. Амплитуда колебаний угла наклона  $\varepsilon$  экватора Земли к ее орбите в семь-восемь раз больше. Эти колебания дают

такие изменения инсоляции, которые могут объяснить имевшие место колебания климата в прошлом.

### Эволюция угла наклона и инсоляции на широте 65° северного полушария

На рис.1 линией 1 показана эволюция угла наклона  $\varepsilon$  за прошедшие 200 тыс. лет. Изменения угла  $\varepsilon$  по нашим решениям совпадают с аппроксимацией данных наблюдения, а также до 2000 лет совпадают [Смульский 2014] с результатами решений других авторов [Lascar et al 2004]. Далее рассчитанный нами угол наклона  $\varepsilon$  начинает отличаться от результатов их решений. По сравнению с расчетами по прежним теориям (линия 2) наши решения дают в 7-8 раз большие амплитуды колебаний. По прежним теориям на этом интервале времени угол наклона изменяется от 22.21° до 24.43°. А по нашим решениям наклон плоскости экватора Земли к плоскости ее орбиты изменяется от 14.8° до 32.1°. Примерно такой же диапазон изменений угла  $\varepsilon$  получен при решении задачи за будущие 200 тыс. лет [Смульский 2013].

В астрономических теориях палеоклимата рассматривается инсоляция за равные калорические полугодия. Начало и конец летнего калорического полугодия определяется так, чтобы инсоляция за любой его день была больше инсоляции за любой день зимнего полугодия. Далее будем рассматривать инсоляцию на широте 65° северного полушария, которое обозначается

буквой  $N$ . Мы рассчитали изменение инсоляции  $Q_S^{65N}$  за 200 тыс. лет в прошлое как по определенным нами параметрам:  $e$ ,  $\varepsilon$  и  $\varphi_{py}$  (линия 1 на рис. 1), так и по тем же параметрам, рассчитанных в работе [Lascar et al 2004] (линия 2). Как видно из графиков, инсоляция  $Q_S^{65N}$  за летнее калорическое полугодие на северной широте  $65^\circ$  по нашим решениям имеет амплитуду колебаний также в 7-8 раз большую, чем по прежним теориям. Моменты потепления и похолодания по нашим расчетам 1 и по прежним теориям 2 также не совпадают.

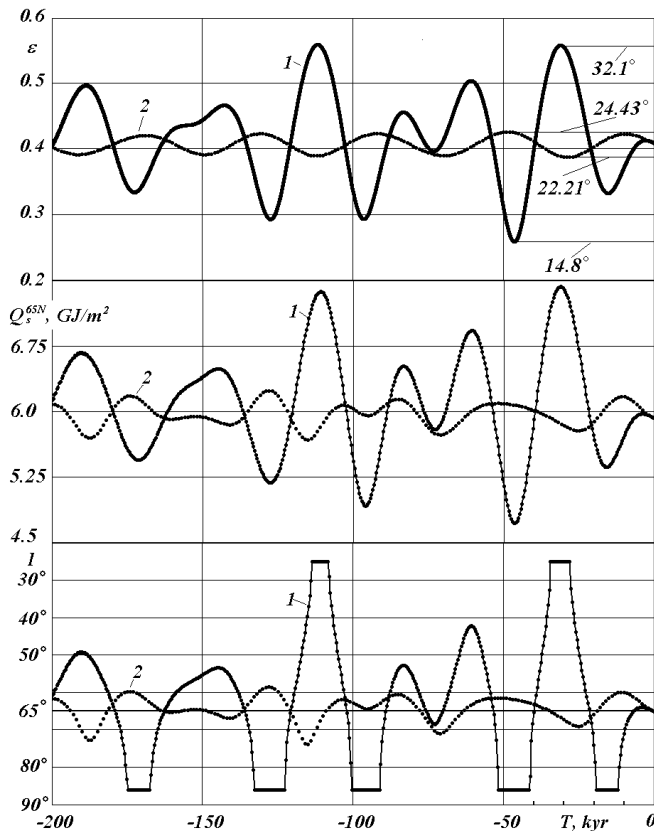


Рис. 1. Эволюция угла наклона  $\varepsilon$ , а также летних инсоляций  $Q_S^{65N}$  и  $I$  за 200 тыс. лет в прошлое. Сравнение новых результатов 1 с результатами прежних теорий 2 на примере работы [Lascar et al 2004]:  $\varepsilon$  – угол наклона в радианах экватора Земли к плоскости ее орбиты;  $Q_S^{65N}$  – инсоляция в ГДж/м<sup>2</sup> за летнее калорическое полугодие на северной широте  $65^\circ$ ;  $I^\circ$  – инсоляция в эквивалентных широтах за летнее калорическое полугодие на северной широте  $65^\circ$ . В градусах приведены максимальные и минимальные значения угла  $\varepsilon$ .  $T$  – время в тыс. лет от 30.12. 1949 г.

На рис. 1 представлена инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах, рассчитанная нами для широты  $65^\circ$  северного полушария как по нашим данным (линия 1), так и по данным [Lascar et al 2004] (линия 2). Она определяется следующим образом. Если в эпоху  $T$  летняя инсоляция на широте  $\varphi$  была такая, как в современную эпоху на широте  $\varphi_0$ , то инсоляция в эквивалентных широтах будет  $I = \varphi_0$ . На рис. 1, начиная с  $T = 0$ , инсоляция  $I$  по нашим данным 1 с широты  $65^\circ$  уменьшается на несколько градусов, т.е. на широте  $65^\circ$  становится теплее. Затем после максимума величина  $I$  начинает уменьшаться до широт  $80^\circ$  и  $90^\circ$ . При  $T = -15$  тыс. лет летняя инсоляция на широте  $65^\circ$  меньше, чем современная летняя

инсоляция на полюсе, поэтому на графике 1 проведена горизонтальная площадка. Таким образом, горизонтальная площадка примерно 15 тыс. лет назад означает, что инсоляция на широте  $65^\circ$  была меньше, чем сейчас на полюсе. Такое малое количество тепла могло привести к оледенению территорий на широте  $65^\circ$ .

При дальнейшем изменении времени до  $T = -30$  тыс. лет летняя инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах достигает широт  $50^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $30^\circ$ , т.е. на широте  $65^\circ$  становится значительно больше солнечного тепла. Горизонтальная площадка в эпоху  $T = -30$  тыс. лет означает, что на широте  $65^\circ$  поступает больше тепла, чем сейчас на экваторе.

Линией 2 приведена инсоляция  $I$  в эквивалентных широтах по прежним теориям. Как видно, на широте  $65^\circ$  летняя инсоляция  $I$  на рассмотренном отрезке времени в 30 - 50 тыс. лет изменяется в пределах от  $60^\circ$  до  $70^\circ$ . Маловероятно, что изменения количества тепла на широте  $65^\circ$  до таких величин, которые сейчас имеются на широтах  $60^\circ$  и  $70^\circ$ , могут привести к существенным потеплениям климата или его похолоданиям. Такие небольшие изменения инсоляции всегда вызывали сомнения [Смульский 2013].

### Инсоляция и последние оледенения в Западной Сибири

В результате изучения разными специалистами палеоклимата Западной Сибири выработано согласованное представление о его эволюции в позднем плейстоцене [Гросвальд 2009; Svendsen et al 1999]. В табл.1 приведены максимумы похолоданий 16.09 тысяч лет назад (т.л.н.) и 46.44 т.л.н., которые согласуются с ключевыми событиями позднего плейстоцена Западной Сибири.

Таблица 1. Отдельные экстремумы инсоляции: потепления отмечены как максимумы (max), а похолодания – как минимумы (min).

$T$ , т.л.н.	4.16	16.04	31.28	46.44	110.8
Тип	max	min	max	min	max
$Q_s^{65N}$ , ГДж/м <sup>2</sup>	5.97	5.36	7.43	4.72	7.38

Большая часть исследователей считают, что на севере Западной Сибири на островах и на шельфе Баренцева и Карского морей неоднократно образовывался ледовой щит. По Гросвальду [2009], в ледниковые эпохи, которые многократно повторялись в последние 2.3 - 2.5 м.л.н., Баренцево-Карский шельф превращался в сплошную область эрозии (экзарации) и сноса. Этот щит объединялся со скандинавским щитом, а их ледосбросы на Печорский бассейн взаимодействовали между собой, периодически отклоняя друг от друга. Имеются только различия относительно границ распространения ледниковых щитов и их положения в разные эпохи. В поздний Вейхелий, эквивалентный сартанскому оледенению [Svendsen et al 1999], совместный ледниковый щит на востоке захватывал Новую Землю, на севере шел по шельфам северных морей, на западе достигал нижней трети Исландии и Британии, в Европе

опускался до широт  $56^\circ$ , а в России поднимался на Север по Западной части Белого моря. Авторы работы [Svendsen et al, 1999] считают, что в Карском море могли быть островные оледенения с опорой на северную часть Таймыра. А в средне-раннем Вейхелии, который эквивалентен Ермаковскому оледенению, восточная часть совместного ледникового щита распространялась по северной части шельфа Карского моря и захватывала почти весь Таймырский полуостров и плато Путорана в Восточной Сибири, а по югу опускалась чуть ниже полярного круга и соединялась с южной границей в Европе сартанского ледника. В отличие от Svendsen et al [1999], у Гросвальда [2009] восточная граница этого ледника захватывает весь Таймыр и западную часть Среднесибирского плоскогорья, на юге опускается до широты  $50^\circ$ , а на западе захватывает всю Исландию и почти всю Британию. В связи с этим Гросвальд считает, что Баренцево-Карский ледниковый щит существовал в обе последние ледниковые эпохи.

На определенном этапе образования ледникового щита в Западной Сибири сток рек бассейнов Оби и Енисея в ледовитый океан прекращается [Гросвальд 2009]. Низменные части Западной Сибири начинают заполняться водой. Исследователи отмечают образование Хантыйского, Енисейского и Пуровского озер [Архипов 1997], которые в последующем соединились между собой и образовывали озеро-море Западной Сибири. С ростом высоты ледникового щита и сменой похолодания на потепление начинался сток льда с него. Сток на север, в Ледниковый океан, прослеживается по подводным желобам: Медвежинскому, Франция-Виктория, Св. Анны и Воронина. А сток на юг отмечен Сибирскими увалами в Западной Сибири и их продолжениям в Восточной Сибири. Эту границу Гросвальд [2009] назвал линией Волкова.

С дальнейшим потеплением начинается таяние ледникового щита и происходит дальнейшее увеличение пресноводного моря до такой степени, что начинается его сток через Тоболо-тургайский желоб в Турганскую низменность Приуралья и, возможно, с проходами на юге – в Каспийскую низменность.

С деятельностью ледника связаны морены, пути перемещения льда (троги), сдвиги, надвиги и прочие дислокации, переносы породы и грунта и множество других процессов. С деятельностью пресноводного моря связаны террасы, озёрные отложения, конусы выноса входящих рек и эрозионные процессы на бортах выводных потоков (спилбеев).

Моренный пояс, Сартанский или Танамский [Архипов 1997], вдоль возвышенности Сибирские Увалы является самый южный. Севернее, в зоне  $65.5^\circ$  и  $67^\circ$  с.ш., существует еще несколько моренных поясов. Вследствие неоднократности похолоданий моренные пояса могли возникать в разные периоды. Пути перемещения ледников разных эпох могли не совпадать. Поэтому морены могут принадлежать к разным ледниковым эпохам. Если последний ледниковый максимум (ПЛМ) был менее мощный чем предыдущие, то самый южный моренный пояс является результатом деятельности

предыдущих ледниковых эпох. Самый южный пояс морен, доходящий до подножия Сибирских Увалов, относят [Архипов 1997] к раннезырянскому времени к Ермаковскому горизонту. К этому ледниковому периоду относится максимальная стадия Баренцево-Карского щита около 50 тыс. лет назад (Svendsen et al, 1999). После максимальной стадии в Печорском Бассейне этот щит растаял 40 т.л.н.

Как видно из табл. 1, этому Ермаковскому ледниковому периоду соответствует минимум инсоляции 46.44 т.л.н. Инсоляция летом была  $Q_s^{65} = 4.72$  ГДж/м<sup>2</sup> – самая низкая за весь период в 200 тыс. лет.

Последнюю ледниковую эпоху связывают с сартанским горизонтом. В этот период сформировался ледниковый рельеф Западной Сибири, в том числе краевые морены в зоне  $65.5^\circ - 67^\circ$  с.ш. по южному подножию Салехардских увалов и Хадатейским грядам Тазовского полуострова. Севернее их расположены Ямало-Гыданские пояса морен на широте около  $68^\circ$  с.ш. от озёр Ярро-то на Ямале к востоку вдоль Гыданской гряды. Севернее расположены морены, которые являются самыми молодыми. Последние два гряда морен связаны с деградацией сартанского ледника. Как видно из табл. 1 эта эпоха 16.04 т.л.н. с инсоляцией  $Q_s^{65} = 5.36$  ГДж/м<sup>2</sup> была теплее предыдущей на 12%. Поэтому южный моренный пояс не был достигнут моренами последней ледниковой эпохи.

Одновременным сартанскому оледенению в Западной Сибири является последнее оледенение в Скандинавии, которое характеризуют горизонтом позднего Вейхелия [Svendsen et al 1999]. В Архангельском регионе максимум оледенения относят к 17 т.л.н. и дегляциацию – к 16 т.л.н. Восточнее озера Онега дегляциация относится к 14.4-12.9 т.л.н. На Таймыре возраст ледника позднего Вейхелия или сартанского времени относится к 18 - 7.5 т.л.н. Пространство между Норвегией и Новой Землёй покрыто ледником – 10.7 т.л.н. По Архипову [1997] радиометрический возраст сартанского ледникового горизонта находится в пределах 23 (22) – 10 т.л.н.

Колонки, поднятые с глубины 470 м. желоба Франца-Иосифа содержали материал морены, покрытый ледниково-морскими илами с возрастом 12.9 т.л.н. и голоценовыми отложениями – 10 т.л.н. Деградиация льда в желобе Св. Анны началась около 13 т.л.н. и завершилась к 10 т.л.н. [Гросвальд, 2009]

Последствия образовавшегося в сартанское время Мансийского озера имеют примерно такой же возраст 20-10 т.л.н. [Архипов 1997]. Причем озеро сартанского времени занимало меньшие площади, чем более древнее. Отложения более древнего озера перекрыты отложениями с остатками мамонтов, возраст которых примерно 18 т.л.н.

Как видим, приведенные датировки сартанского оледенения и его последствий совпадают с минимумом инсоляции 15.88 т.л.н.

Между Ермаковским оледенением с минимумом инсоляции 46.44 т.л.н. и сартанским с минимумом инсоляции 15.88 т.л.н. находится Каргинский межледниковый горизонт с максимумом инсоляции 31.28

т.л.н. Во многих долинах Печорской низменности: Шапкиной, Хвостовой Созьвы и Соймы древесина и торф из-под рельефообразующих морен имеет возраст от 25 до 40 т.л.н. [Гросвальд 2009]. Под распространенной к северу от Сибирских увалов мореной расположены озерно-болотные отложения, возрастом от 25 до 40 - 50 т.л.н. [Архипов 1997]. Раковины на восточном Баренцево-Карском побережье и берегах Таймыра и Северной Земли имеют возраст от 24 до 38 т.л.н. [Гросвальд 2009].

Как уже отмечалось [Svendsen et al 1999] существовавший ранее Баренцево-Карский ледниковый щит к 40 т.л.н. полностью исчез. По Архипову [1997] казымская пачка Каргинского горизонта (дер. Казым-Мыс, правый берег нижней Оби) простирается по долине Оби до г. Колпашево и бассейна р. Васюган, а также до дер. Липовка на Тоболе. Ее возраст 33 - 31 т.л.н. На нижнем Енисее от г. Игарка до устья Бахты прослеживаются конощельские слои, аналог Казымскому слою с возрастом 33 - 32 т. л. Как правило, это аллювиально-озерные отложения с прослойками торфа.

Третья терраса Иртыша и Тобола с абсолютными отметками 70 - 75 м. у с. Липовка сложена озерно-аллювиальными отложениями [Илларионов 2013]. Возраст древесных и растительных остатков, имеющих в ней, составляет от 31.78 до 32.77 т.л.н. Такой же возраст имеют костные остатки бизонов, шерстистых носорогов и лошадей.

Таким образом, максимум инсоляции  $T = 31.28$  т.л.н. в табл. 1 соответствует периоду Каргинского межледнековья.

### Новые инсоляционные периоды

Экстремумами инсоляции за 50 т.л.н., как показано выше, хорошо согласуются с колебаниями палеоклимата. В результате исследований [Смульский 2014] установлено, что летняя инсоляция отличается от зимней и инсоляции за год. По разному также изменяется инсоляция по широтам Земли. Тем не менее, летняя инсоляция  $Q_s^{65N}$  на широте  $65^\circ$  северного полушария адекватно отражает колебания инсоляции на высоких широтах  $\varphi > 45^\circ$ , как в северном, так и в южном полушарии. Именно на этих широтах наблюдаются существенные изменения палеоклимата. Поэтому колебания инсоляции  $Q_s^{65N}$  были приняты за основу для установления инсоляционных периодов и их границ.

На рис.2 пронумерованы все экстремумы инсоляции, за исключением первого, цифрами от  $1_t$  до  $12_t$ . Первый экстремум в эпоху  $T = 4.16$  т.л.н., связанный с оптимумом голоцена, обозначен буквой  $O_t$ . Оптимум голоцена однозначно проявляется в интервале 9 – 3.3 т.л.н. [Гросвальд 2009; Архипов 1997].

Границы периодов, начало и конец, установлены по пересечении инсоляционной кривой  $Q_s^{65N}$  среднего значения  $Q_{sm} = 6.043$  ГДж/м<sup>2</sup>, которое установлено по максимальным и минимальным значениям  $Q_s^{65N}$  за 20 млн. лет. Для качественной границы климата приведены его градации из трёх уровней для холодного и трёх

уровней для тёплого периодов, например, для холодного климата: умеренно холодный (у. х.), холодный (х.) и очень холодный (о. х.). На рис. 2 показаны инсоляционные периоды и их характеристики. Средний уровень инсоляции  $Q_{sm}$  указан позицией 1, границы первого и второго теплых уровней отмечены  $1_t$  и  $2_t$ , а границы холодных уровней –  $1_c$  и  $2_c$ .

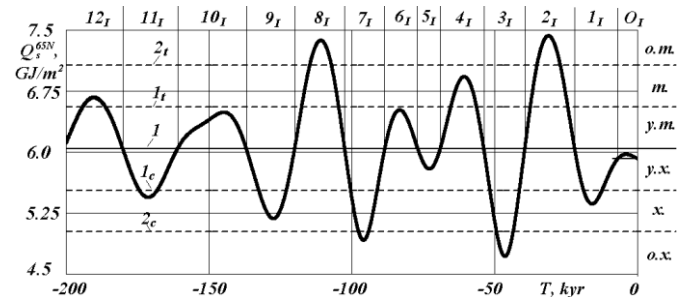


Рис.2. Периоды инсоляции  $O_t, 1_t, 2_t, \dots, 12_t$  за 200 т.л.н. и границы их смены:  $1$  – средняя инсоляция  $Q_{sm}$ ;  $1_t$  и  $2_t$  – первый и второй теплые уровни;  $1_c$  и  $2_c$  – первый и второй холодные уровни; у. т., т., о. т. – уровни теплых периодов; у. х., х., о. х. – уровни холодных периодов.

Как уже отмечалось, экстремумы инсоляции  $O_t, 1_t, 2_t$  и  $3_t$  (см. рис. 10 и табл. 2) за 50 т.л.н. хорошо согласуются с оптимумом голоцена, последними двумя ледниковыми периодами: Сарганским и Ермаковским, а также с Каргинским межледнековьем между ними.

### Благодарности

Задачи об орбитальном и вращательном движении Земли решались на суперкомпьютерах Сибирского суперкомпьютерного центра СО РАН (г. Новосибирск).

### Литература

- Архипов С.А. 1997. Хронология геологических событий позднего плейстоцена Западной Сибири // Геология и геофизика, 1997, т. 38, № 12. – С. 1863-1884.
- Гросвальд М.Г. 2009. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания. – М.: Наука, 2009. – 152 с.
- Миланкович М. 1939. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. – М.-Л.: ГОНТИ, 1939. – 207 с.
- Смульский И.И. 2013. Анализ уроков развития астрономической теории палеоклимата // Вестник Российской Академии Наук, 2013. Т. 83. № 1. С. 31-39.
- Смульский И.И. 2014. Основные положения и новые результаты астрономической теории изменения климата // Институт криосферы Земли СО РАН. – Тюмень, 2014. – 30 с.: ил. 16.- Библиогр.: 44 назв. - Рус. Деп. в ВИНТИ РАН 30.09.2014, № 258-В2014.
- Laskar J., Robutel P., Joutel F., Gastineau M., Correia A.C.M., and Levrard B. 2004. A Long-term numerical solution for the Earth // Icarus 170, 2004. Iss. 2: 343-364.

## О нарушении продольной устойчивости скважин на многолетнемерзлых грунтах

П.В.Солдатов, Я.Б.Горелик  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

### Реферат

Выполнена модификация общего метода расчета продольной устойчивости стержня в упругой среде с жестко заделанными концами [Ржаницыным, 1955]. Выполнены расчеты критических нагрузок при потере продольной устойчивости крепи скважин без потери ими боковой опоры на вмещающие породы. Проведено рассмотрение и оценка действующих на крепь нагрузок с учетом имеющейся информации о свойствах мерзлых и оттаивающих пород на конкретных месторождениях (где имели место аварийные деформации ствола). Обоснована реальная возможность потери продольной устойчивости крепи эксплуатационных скважин без потери ими боковой опоры. Минимальные критические нагрузки соответствуют антисимметричным формам с двумя полуволнами изгиба, что предполагает наибольшую их наибольшее распространения среди аварийных случаев. Это соответствует инструментальным наблюдениям на Ямбургском и (по предварительным данным) – на Ванкорском месторождениях. Анализируются иные особенности возможных деформаций ствола.

**Ключевые слова:** Мерзлые породы, оттаивающие породы, скважина, вертикальные нагрузки, продольная устойчивость, формы изгиба.

### About Working Affectivity of the Vertical Thermostabilizer for Building on Permafrost

P.V.Soldatov, J.B.Gorelik  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

### Abstract

The modification of the A.R. Rzhantsin's general method in calculations of the lengthwise rod stability within the elastic media was done in this article for the purpose of employment it to practice tasks. On this base the calculations for finding the critical loads in the breakdown of the lengthwise hole stability was done. It was reviewed the values of the real loads which acts on the hole walling with taking into consideration the properties of frozen and thawing soils in concrete regions (where the hole walling was deformed in fact). The real possibility of the breakdown the lengthwise hole stability without loss the lateral rest on the thawing frozen soils is proved in the article. The minimal critical loads correspond to antisymmetrical forms with two half-waves of the walling bend. Only such bend forms are observed in practice cases (examples are in the text). Other special aspects of the breakdown the lengthwise hole stability with taking into consideration the variation in the properties of the close round soils is investigated.

**Key Words:** Frozen soil, thawing soil, hole, vertical load, lengthwise stability, forms of walling bends.

### Введение

На некоторых северных месторождениях зафиксировано явление, весьма схожее с картиной потери продольной устойчивости крепи скважины. Характерный изгиб, приводящий к остановке ее работы (с просадкой устья), происходит в интервале залегания мерзлых пород на значительных глубинах (до 200 – 250 м), имеет протяженность в несколько десятков метров, две полуволны изгиба и может представлять серьезную опасность для строительства скважин в северных регионах. Деформации происходят без образования оголенного участка ствола (без потери боковой опоры на вмещающие породы, оттаявшие под действием тепловыделений от скважин). Достоверно известно, что это явление имело место на Ямбургском и Ванкорском месторождениях углеводородов и до сих пор не имеет должного объяснения. Имеются (пока не подтвержденные) сведения об аналогичных наблюдениях на некоторых других северных месторождениях нефти и газа. Аналогичное явление для нефтяных скважин было

зафиксировано вне зоны распространения мерзлых пород и связывалось с воздействием дополнительных осевых нагрузок, возникающих при выносе минеральной компоненты в призабойной зоне [Теория и практика... 1965]. Там же отмечено возникновение в ряде случаев деформаций крепи шахтных стволов в мерзлых грунтах при их оттаивании, что связывается с возникновением дополнительных осевых нагрузок на крепь. Интересно отметить, что эти деформации наблюдаются в первые 2-3 года эксплуатации, что совпадает с временным интервалом наиболее интенсивных просадок грунта вблизи эксплуатационных скважин [Горелик и др. 2015].

До сих пор расчеты продольной устойчивости скважин проводились для их оголенных участков, образовавшихся вблизи их устьев в результате просадок оттаивающего в процессе эксплуатации грунта. В работе [Горелик и др. 2015] высказано предположение, что описываемый тип потери устойчивости скважин может иметь место без потери боковой опоры и при воздействии дополнительной продольной нагрузки на крепь со стороны оттаявших пород (негативное трение). Общая теория потери устойчивости стержневых систем под

действием осевой силы с учетом боковой реакции вмещающей их среды изложена в ряде монографий и специальных работ (см., например, [Вольмир 1952; Ржаницын 1955; Тимошенко 1971; Ландау Лифишиц 1987]). Основной проблемой здесь остается переход к описанию конкретной системы со специфическими условиями ее работы. Применительно к скважине дополнительному анализу подлежат: выбор конкретной расчетной схемы, определяющей условия закрепления концов деформируемого участка, описание способов задания действующих нагрузок и создание метода расчета, позволяющего оценить границы устойчивости заданной конструкции крепи с учетом свойств грунта. Исследование совокупности обозначенных здесь вопросов является актуальным для решения проблемы надежности эксплуатационных скважин в районах распространения мерзлых пород. Настоящая работа имеет целью осветить эти и другие важные элементы данной проблемы.

### Выбор расчетной схемы

При рассмотрении проблемы продольной устойчивости крепи скважины реальная конструкция заменяется стержнем с соответствующими характеристиками формы и механическими свойствами материала крепи [Василевский 2002; СТО Газпром 16-2005 2005, Биргер Мавлютов 1980].

В зависимости от характера залегания мерзлых пород, их свойств при оттаивании, а также степени их однородности по разрезу могут быть рассмотрены различные расчетные схемы потери продольной устойчивости. С учетом имеющейся фактической информации наиболее опасным при оттаивании с точки зрения воздействия на крепь, на наш взгляд, является разрез следующего типа: сравнительно однородный массив дисперсных отложений (характеризующийся относительно малой просадочностью при оттаивании) включает пласт пород мощностью  $l$  с резко отличающимся (в сторону понижения) модулем деформации оттаивающих пород, кровля этого пласта залегает на глубине  $H$ , подошва – на глубине  $H+l$  (в мерзлом состоянии этот пласт может отличаться от основных пород разреза, например, повышенным содержанием льда). Так, по данным обследования аварийной скважины именно такой высокостылый пропласток залегает в интервале глубин, в котором произошла деформация колонн (материалы обследования любезно предоставлены геологической службой ООО “Ямбурггаздобыча”).

Расчетная схема, соответствующие этому варианту залегания пород, описывается так. Стержень кругового (кольцевого) сечения жестко заделан своими концами в породах кровли и подошвы “слабого” пропластка. Суммарное осевое усилие, действующее на стержневой участок, заключенный в его теле, складывается из веса колонны и сил негативного трения в интервале от поверхности массива грунта до уровня  $H$  (в силу предполагаемой малости величины  $l$  в сравнении с  $H$  вес крепи и влияние негативного трения в интервале

залегания пропластка являются пренебрежимо малыми). В интервале глубин от  $H$  до  $H+l$  изгибу стержня противодействует силы сопротивления грунта, пропорциональные величине этого изгиба. Этот случай и рассмотрен при анализе устойчивости крепи скважины.

### Расчет критической нагрузки

Методика расчета потери устойчивости крепи скважины основана на общем методе расчета устойчивости стержневых систем [Ржаницын 1955] и модифицирована нами для практического применения путем разбиения всего класса решений на симметричные и антисимметричные формы изгиба с автоматизацией процедуры с помощью вычислительных программ в среде Mathcad. Ниже в этом разделе приведем только результаты расчетов.

Расчет критической нагрузки для двухколонной конструкции скважины с суммарной жесткостью  $E \cdot J = 1,8 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$ , мощностью “слабого” пропластка  $l = 20 \text{ м}$  и коэффициентом постели грунта (определяет реакцию грунта на изгиб колонны)  $b = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  дает следующие результаты: для антисимметричной формы изгиба с минимальным числом полуволен (равным двум) минимальная критическая нагрузка  $N_p = 839 \text{ тс}$ . Если для сравнения принять для коэффициента постели значение на порядок меньшее ( $b = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ), то при прочих равных параметрах критическая сила принимает значение  $N_p = 265 \text{ тс}$ . На Рис. 1 показаны соответствующие новые устойчивые формы изгиба осевой линии при двух приведенных выше значениях параметра  $b$ . Представленные на Рис. 1 формы изгиба сходны с картиной искривления ствола на Ямбургском месторождении (Рис. 3). По неподтвержденным сведениям картина изгиба ствола на Ванкорском месторождении имеет аналогичный вид.

Отметим, что мощность “слабого” пропластка в 20 м близка к протяженности интервала глубин, где произошла деформация колонны на Ванкорском месторождении. На глубине около 200 м, где локализованы деформации, в этом районе зафиксировано наличие пластовых льдов [Баулин и др. 1967], однако точной информацией о свойствах пород в районах расположения кустовых площадок Ванкорского месторождения авторы не располагают.

Изменение мощности “слабого” пропластка с 20 до 40 м (что близко к условиям Ямбургского месторождения) при прочих постоянных исходных параметрах приводит к следующим результатам. При тех же двух значениях параметра  $b$ , что приведены выше, решение с двумя полуволнами для антисимметричных форм отсутствует. Для этих значений  $b$  решения существуют начиная с семи полуволен. Соответствующие критические нагрузки равны  $N_p = 2755 \text{ тс}$  для большего значения  $b$  и  $N_p = 503 \text{ тс}$  – для меньшего. Однако, условие упругой работы материала труб выполняется только для второго случая. Антисимметричное решение с двумя полуволнами существует, например, при  $b = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ . Вид деформаций аналогичен тем, что показаны на Рис. 1. Приведенному здесь значению  $b$  соответствует

критическая нагрузка  $N_p=153 \text{ тс}$ . Результаты расчета для симметричных случаев изгиба при тех же исходных данных, которые были приняты для антисимметричных форм сводятся к следующему. При  $l=20 \text{ м}$  и  $b = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  решение с одной полуволной отсутствует. Существование решений для этих данных начинается с четырех полуволн. Критическая нагрузка достигает значения  $N_p=3192 \text{ тс}$ . Четырехполуволновое решение существует и для  $b=0,6 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ , при этом критическая нагрузка  $N_p=2917 \text{ тс}$ .

При  $b = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  существует решение, имеющее форму одной полуволны. Значение критической силы в этом случае  $N_p=357 \text{ тс}$ . Это значение выше, чем для тех же значений  $l$  и  $b$  в рассмотренном выше антисимметричном случае ( $N_p=265 \text{ тс}$ ). Эта симметричная форма изгиба показана на Рис. 2.

Для  $l=40 \text{ м}$  для меньшего из значений  $b$  ( $b = 0,6 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ ) решение существует только начиная с пяти полуволн. Критическая нагрузка здесь  $N_p=1221 \text{ тс}$ . Для  $b = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  число полуволн и критическая нагрузка являются весьма значительными и не представляют практического интереса. Как и в антисимметричном случае решение существует при  $b = 0,2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  для одной полуволны. Форма изгиба аналогична приведенной на Рис. 2. Критическая нагрузка  $N_p=242 \text{ тс}$  удовлетворяет условию упругости, но превышает в полтора раза значение критической нагрузки для аналогичных исходных данных в антисимметричном случае ( $N_p=153 \text{ тс}$ ).

### Оценка действующих нагрузок

При анализе устойчивости ствола скважины важную роль играют природа и величина действующих на него нагрузок. Сам факт возникновения дополнительной осевой силы со стороны оттаивающих пород на несущие элементы фундамента (сваю) и исследования ее величины впервые приведены в работе А.М. Пчелинцева [Пчелинцев 1956]. Природа этой силы связана с зависанием оттаивающего грунта на элементах фундамента. Очевидно, ту же природу имеет дополнительная сила, возникающая при оттаивании окружающих пород и действующая на крепь горных выработок. Расчет этих сил для свайных фундаментов нормирован в [СП 25.13330.2012]. Попытки расчета этих сил с позиций теории упругости [Культиков 1981] пока нельзя признать вполне успешными, поскольку отсутствует сравнение результатов расчета с фактическими данными. Способ учета этой нагрузки на основе общих уравнений механики грунтов имеется в работе [Терцаги 1961]. Этот способ использован одним из авторов настоящей статьи при разработке соответствующей методики расчета [СТО Газпром 16-2005, 2005], однако это исследование также нельзя признать завершенным. Идейно близкие методики расчета этих сил приведены в книгах [Инженерная геокриология 1991; Теория и практика... 1965]. Эти методики являются результатом многолетнего труда специалистов СО НИИОСП и опираются как на всесторонние исследования процессов вблизи горных выработок. Несмотря на то, что обоснование этих

методов нельзя считать окончательным, однако именно они тесно привязаны к результатам фактических наблюдений на действующих объектах. Кроме того, на их основе осуществляется проектирование опор крепи шахтных стволов в районах распространения мерзлых пород. Поэтому эти методы могут быть применены для оценки осевых нагрузок на крепь эксплуатационных скважин при оттаивании мерзлых пород.

Примем  $H=200 \text{ м}$  (характерная глубина до деформированного участка крепи как на Ямбургском, так и на Ванкорском месторождениях). Суммарная вертикальная нагрузка на крепь  $G$  складывается из веса колонны труб  $Q$  и силы негативного трения  $F$ . Согласно [Теория и практика..., 1965], сила негативного трения на крепь вертикальной горной выработки радиуса  $a$  и при радиусе оттаивания вокруг нее  $R$  определяется так:

$$F = \pi \cdot a \cdot R \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность оттаявших пород,  $g=9,81 \text{ м/с}^2$ . Важно, что это выражение учитывает текущее положение радиуса протаивания и, таким образом, отражает зависимость этой силы от времени. При этом авторы отмечают, что зависимость от радиуса протаивания четко прослеживается только до его значения примерно в 4 метра, а далее становится малозаметной (то есть при превышении значения  $R=4 \text{ м}$  необходимо в (1) подставлять значение  $R=4 \text{ м}$ ). Фактически это означает, что осязательное влияние радиуса протаивания прослеживается только для первых лет эксплуатации сооружения. Здесь, однако, следует заметить, что цитируемые исследования данного вопроса проведены для отдельно стоящего сооружения, когда по цилиндрической границе протаивания талый грунт всюду контактирует с мерзлым массивом, который фактически выступает в роли жесткой стенки, принимающей на себя значительную часть нагрузки от оттаявших пород. При кустовом способе строительства скважин вдоль осевой линии куста может происходить слияние таликов от соседних скважин (при необоснованном сближении их устьев). В этом случае происходит нарушение целостности жесткой стенки из мерзлого грунта. Тогда под радиусом  $R$  в (1) можно понимать некоторое его эффективное значение, которое может изменяться вплоть до половины расстояния между устьями соседних скважин и существенно влиять на величину сил негативного трения, увеличивая опасность потери устойчивости крепи при слиянии таликов. С этих позиций принимаемое без каких либо пояснений требование запрета на слияние таликов от соседних скважин, изложенное в Правилах безопасности [ПБ 08-624-03 2003] выглядит вполне обоснованным.

Принимая в (1)  $a=0,2 \text{ м}$  (с учетом внешнего цементного кольца), диапазон изменения  $R$  в первые годы эксплуатации 2-4 м, возможные значения плотности грунта  $\rho$  в пределах  $1500 - 2000 \text{ кг/м}^3$  и  $H=200 \text{ м}$  получим возможный диапазон нагрузки  $F$  в пределах от 300 – 400 до 1000 тс. Величина этой силы, конечно, может быть и ниже приведенных здесь значений (например, при малых радиусах протаивания или для малопросадочных при



оттаивании грунтов). Однако, важно, что приведенные значения могут достигаться при определенных условиях.

Для двухколонной конструкции скважины, состоящей из труб стандартных размеров (кондуктор –  $324 \times 12$  мм; эксплуатационная колонна –  $168 \times 12$  мм; насосно – компрессорная труба –  $89 \times 6,5$  мм) длиной 200 м вес труб  $Q$  (включая цемент и фонтанную арматуру) составит 76,4 тс. Таким образом, с учетом  $Q$  диапазон возможного изменения осевой нагрузки расширяется незначительно.

Сравнивая величину действующей нагрузки с критическим значением, (приведенным в предыдущем разделе), убеждаемся, что эта нагрузка представляет опасность для потери устойчивости двухколонной крепи скважины при мощности “слабого” пропластка пород в 20 и 40 м. При этом минимальное значение критической нагрузки соответствует антисимметричной форме потери устойчивости с двумя полуволнами изгиба осевой линии (Рис. 1). Для мощности пропластка в 20 м этим формам

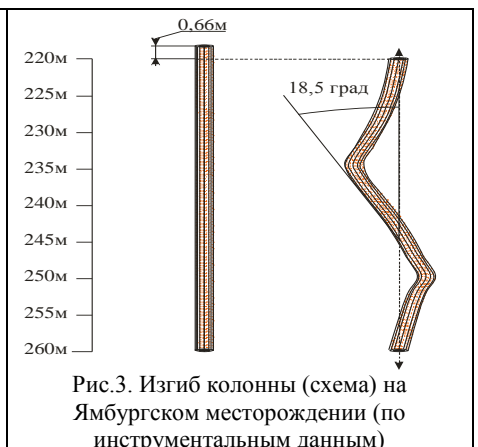
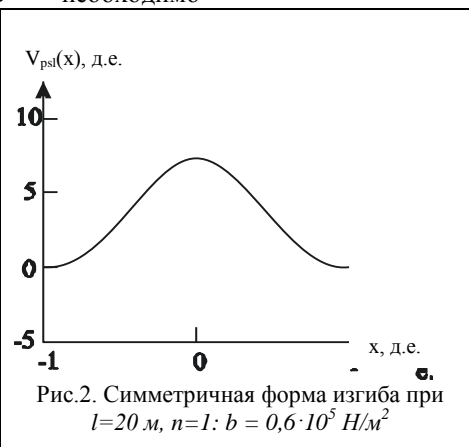
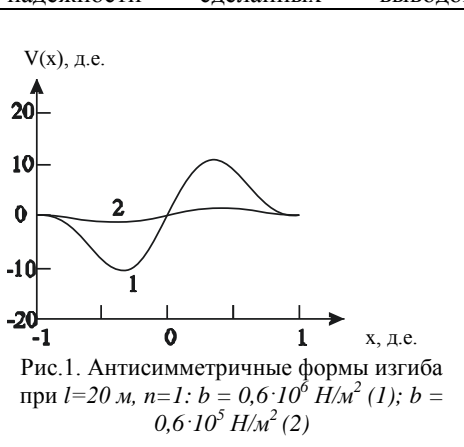
устойчивости с двумя полуволнами изгиба (Рис. 1). Для мощности пропластка в 20 м этим формам соответствуют критические нагрузки  $N_p = 839$  тс (при  $b = 0,6 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>) и  $N_p = 265$  тс (при  $b = 0,6 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>); при мощности пропластка в 40 м антисимметричной форме изгиба с двумя полуволнами соответствует критическая нагрузка  $N_p = 153$  тс (при  $b = 0,2 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>).

Для симметричных форм наименьшая критическая сила, соответствующая одной полуволне изгиба (Рис. 2), при мощности пропластка в 20 м равна  $N_p = 357$  тс (при  $b = 0,6 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>). Однако, это значение выше, чем для этих же значений  $l$  и  $b$  в антисимметричном случае. При мощности пропластка в 40 м одна полуволна изгиба соответствует минимальной нагрузке  $N_p = 242$  тс (при  $b = 0,2 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>), что более чем в полтора раза выше, чем для антисимметричной формы с двумя полуволнами изгиба. Поэтому антисимметричные формы изгиба колонны (с двумя полуволнами) должны наблюдаться чаще, чем симметричные (с одной полуволной), что фактически наблюдается к настоящему моменту на примере Ямбургского месторождения (интервал деформации – 40 м) и (по предварительным данным) на примере Ванкорского месторождения (интервал деформации – 20 м). В заключение отметим, что для повышения надежности сделанных выводов необходимо

совершенствование методов определения коэффициента постели для оттаивающих грунтов, залегающих на глубине порядка 100 м и более.

## Литература

- Баулин В.В., Белопухова Е.Б., Дубиков Г.И., Шмелев Л.М. Геокриологические условия Западно – Сибирской низменности. – М.: Наука, 1967, 214 с.
- Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов, М., Наука, 1980, 560 с.
- Василевский В.В. Повышение эксплуатационной надежности газовых и нефтяных скважин в многолетнемерзлых породах // Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. – М.: ВНИИГАЗ, 2002, 163 с.
- Горелик Я.Б., Солдатов П.В., Селезнев А.А. Инженерно-геокриологические условия Ямбургского газоконденсатного месторождения и динамика состояния кустовых площадок эксплуатационных скважин // Криосфера Земли, № 1, 2015, с. 58 – 69.
- Инженерная геокриология. Справочное пособие // Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1991, 438 с.
- Культиков А.М. Оценки нагрузок на колонну при оттаивании пород вокруг одиночной скважины // Инженерно-геокриологическое обеспечение строительства, Новосибирск, Наука, 1989, с. 88 – 96.
- Ржаницын А.Р. Устойчивость равновесия упругих систем. – М.: Гос. Изд-во технико- теоретической литературы, 1955, 475 с.
- СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. – М.: Минрегионразвития, 2008, 140 с.
- СТО Газпром 16-2005, Регламент по проектированию крепи добывающих скважин и их конструкций с учетом свойств мерзлых пород. – М., 2005, 45 с.
- Тимошенко С.П. Устойчивость стержней пластин и оболочек, М., Наука, 1971, 808 с.
- Теория и практика мерзлотоведения в строительстве // Под редакцией Братцева Л.А., Жукова В.Ф. – М.: Наука, 1965, 188 с.
- Терцаги К. Теория механики грунтов, Гослитиздат по строительству и архитектуре. – М., 1961, 508 с.



## Метан в подземных льдах Западного Ямала

И.Д.Стрелецкая

*Московский государственный университет, географический ф-т, Москва*

А.А.Васильев, Г.Е.Облогов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Метан является парниковым газом и играет важную роль в динамике климатической системы. Наше исследование сфокусировано на определении количества и происхождении метана, законсервированного в воздушных пузырьках в подземных льдах. Количество метана определялось в ледяных монолитах из полигонально-жильных и пластовых льдов. Газовые включения в голоценовых полигонально-жильных льдах имеют концентрацию метана менее 1,6 ppm, а в плейстоценовых – 4,5 ppm. В пластовых льдах газовые пузырьки содержат метана значительно больше – до 23 ppm. Высокое содержание растворенной органики, анаэробные условия при промерзании водонасыщенных отложений благоприятны для жизнедеятельности метанообразующих бактерий, что подтверждается значениями изотопного состава метана в пластовых льдах  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\text{CH}_4$ ) -71 ‰ -58 ‰.

**Ключевые слова:** метан, пластовые льды, полигонально-жильные льды

### Methane in Underground Ice at Western Yamal

I.D.Streletskaia

*Moscow State University, Geography Department, Moscow, Russia*

A.A.Vasiliev, G.E.Oblogov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

### Abstract

Methane is an important greenhouse gas playing a major role in dynamics of climate system. This study focused on methane concentration and genesis in various types of ground ice. The data on quantity and genesis of methane was collected from Holocene and Pleistocene ice wedges, and from the large massive tabular ice bodies. The Holocene syngenetic and epigenetic ice wedges have methane concentration below 1,6ppm and the Pleistocene syngenetic ice wedges have methane concentration below 4,5ppm. Isotopic composition of methane in gas bubbles Methane entrapped in tabular ice bodies has bacterial genesis  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\text{CH}_4$ ) -71‰-58‰ and show considerably higher concentration up to 23ppm. Anaerobic environment characteristic of tabular ground ice formation and high organic content of solution provided favorable conditions for methane producing bacteria.

**Key Words:** methane, tabular ice bodies, ice wedges

### Введение

Подземные льды отражают природно-климатическую обстановку времени своего образования, условия накопления отложений и их промерзание [Стрелецкая и др. 2012; Leibman et al. 2003]. Объектами настоящего исследования являлись подземные льды и метан, заключенный в нем в воздушных пузырьках. Внимание к составу и количеству газа в криогенной толще связано с проблемой увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, в первую очередь метана, при деградации мерзлоты. Значительное количество метана выведено из современного биогеохимического круговорота и законсервировано в вечной мерзлоте [Ривкина и др. 1992; Gilichinsky et al. 1997; Wright et al. 1998]. Крупные залежеобразующие подземные льды – пластовые (ПЛ) мощностью до 50 м и полигонально-жильные (ПЖЛ) мощностью до 15 м широко распространены на Западном Ямале.



Рис. 1. Район исследований. Полярная станция Марпе-Сале. Подземные льды исследованы в береговых обрывах.

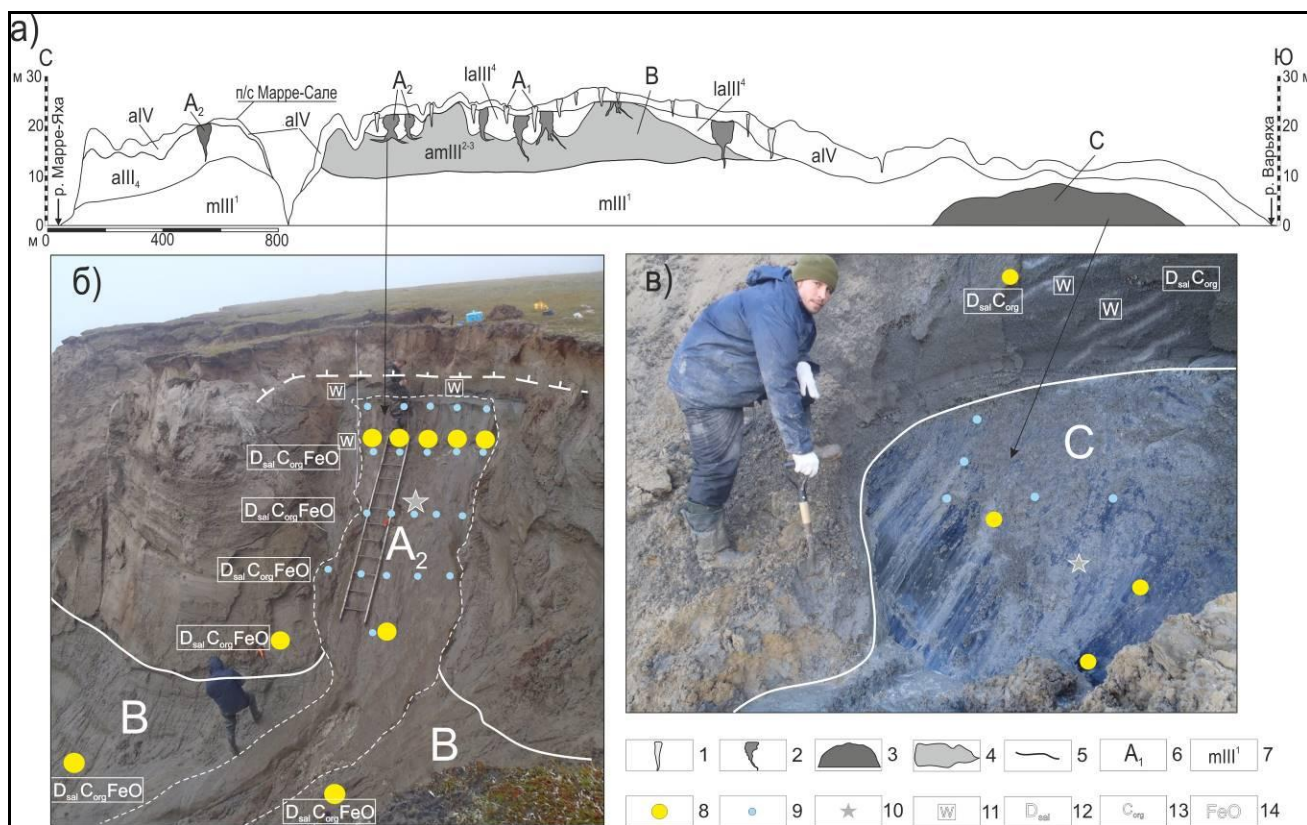


Рис.2. а) Схематический разрез берегового обрыва района Марре-Сале с обозначением основных залежеобразующих льдов ПЖЛ (A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub>) и ПЛ (B и C); б) вид и схема опробования верхнеплейстоценового ПЖЛ (A<sub>2</sub>) и ПЛ (B); в) вид и схема опробования ПЛ (C).

1 – ПЖЛ голоценового возраста (A<sub>1</sub>); 2 – ПЖЛ верхнеплейстоценового возраста (A<sub>2</sub>); 3 – ПЛ массивный (C); 4 – ПЛ ледогрунтовая толща (B); 5 – геологические границы; 6 – условный индекс выделяемых типов подземных льдов; 7 – геолого-генетический индекс отложений. Места, в которых взяты образцы льда (8-10) и породы (11-14). 8. определение газового состава льда; 9 – определение изотопного состава льда; 10 – определение химического состава льда; 11 – определение влажности пород; 12 – определение степени засоления (D<sub>sal</sub>) пород; 13 – определение содержания органического углерода (C<sub>org</sub>) в породе; 14 – определение содержания форм железа в породе.

Основная цель исследований – установить количество и источник метана в воздушных включениях подземных льдов.

### Район исследований

Полярная станция Марре-Сале находится в районе сплошного распространения низкотемпературных мерзлых пород. Обрывистые морские берега высотой 15-30 м сложены неоплейстоценовыми и голоценовыми отложениями морского и континентального генезиса [Forman et al. 2002; Каневский и др. 2005; Стрелецкая и др. 2006; 2009; 2013 и др.] (рис.2).

Континентальная пачка отложений аллювиального аллювиально-озерного генезиса вмещает эпигенетические и сингенетические ПЖЛ голоценового возраста рис. 2, A<sub>1</sub> и мощные сингенетические ПЖЛ рис. 2 а, A<sub>2</sub> плейстоценового возраста [Forman et al. 2002]. Следов современного роста ПЖЛ не обнаружено. Вытянутые удлиненные цепочки пузырьков воздуха диаметром не превышающие 1 мм через 1-2 мм равномерно распределены в ПЖЛ. Пузырьки образуются при формировании ПЖЛ при попадании снега и талой

воды в трещины. Метан, заключенный в пузырьках, находился в воздухе или был растворен в талой воде до попадания в трещину.

Первый тип ПЛ (B) залегает на глубинах 5-8 м на контакте между морскими и континентальными пачками отложений рис. 2а (B) и подстилается глинами. Льды второго типа рис. 2а (C) залегают на глубинах 4-10 м от поверхности и перекрыты морскими глинами. ПЛ (B и C) содержат сферические пузырьки воздуха диаметром до 5 мм, которые неравномерно распределены во льду, в виде скоплений и находятся под давлением. Газы были растворены в воде до начала промерзания. Растворимость метана в воде в сотни раз меньше растворимости углекислого газа и при промерзании метан захватывался льдом.

### Отбор образцов и методы исследований

Из крупных залежей ПЖЛ и ПЛ вырублены 42 монолита льда и мерзлых пород весом 1000-1500 г и в мобильных холодильниках переправлены в лабораторию литологии и геохимии ВНИИОкеангеология (г. Санкт-Петербург, Россия). Определение концентрации метана

из продегазированных проб льда проводилось методом газовой хроматографии на установке с пламенно-ионизационным детектором SHIMADZU 2014. В Институте геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского в лаборатории геохимии углерода на изотопном масс-спектрометре (в конфигурации GC-C-IRMS) определены значения изотопов  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$ . В отложениях континентального и морского генезиса определялось содержание железа по методике К.В. Веригиной [1965]. Проведен комплекс аналитических исследований льда и пород, который включал гранулометрический анализ, определение общего количества органического углерода, степени засоления отложений, состава водно-растворимых солей методом водной вытяжки, химического состава льдов и значений стабильных изотопов кислорода и водорода. Места отбора образцов указаны на рис. 2 (б и в).

### Результаты

Из углеводородных компонентов газа в воздушных пузырьках ПЖЛ и ПЛ преобладает метан, его на порядок больше всех остальных. Больше всего метана в черном монолитном льде (С), где его количество достигало 0,02% или 23352ppm. Метан во льду распределен неравномерно, разница в содержании газа в двух образцах отобранных на расстоянии 1,5 м друг от друга отличалась в 140 раз. В ледогрунтовой толще (В) содержание метана во льду изменялось в довольно узком диапазоне, в среднем составляя 11178 ppm. Меньше всего метана содержится в пузырьках голоценовых ПЖЛ ( $A_1$ ), где количество метана со льду составило от 18 ppm до 227 ppm. В верхнеплейстоценовых ПЖЛ ( $A_2$ ) количество метана больше и в среднем составляет 558 ppm. Текстурирующий лед во вмещающих ПЖЛ отложениях содержал 132 ppm метана.

Значения изотопного состава углерода  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$  из залежей В и С показали изменение от -66,9‰ до -71,4‰. Для шести образцов льда из залежи В было определено значение D по метану, которое изменялось от -326‰ до -259‰.

### Обсуждение результатов

Изучение дисперсных отложений вмещающих ПЖЛ разного возраста ( $A_1$  и  $A_2$ ), минеральных прослоев в ледогрунтах (В) и пластовых монолитных льдов (С) показало, что их формированию сопутствовала восстановительная обстановка. О восстановительной обстановке говорят или полное отсутствие трехвалентной формы железа, или соотношение  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ , которое не превышает 0,9. Присутствие минерала марказита ( $\text{FS}_2$ ) в черном монолитном льде (С) - показатель сероводородного загрязнения в застойных условиях мелких озер и лагун, слабо связанных с морем. Такие условия характерны для отложений мелководного шельфа и лайд, куда реками выносятся континентальные осадки с большим количеством органики. Здесь отсутствует волновое перемешивание воды, а разложение большого количества органики идет без доступа кислорода. В условиях, когда скорость поступления

кислорода ниже скорости его потребления на окисление органического вещества, возможна деятельность метанообразующих бактерий (архей).

Результаты изотопно-спектрометрического анализа метана  $\delta\text{C}^{13}(\text{CH}_4)$ , отобранного из газовых включений залежей В и С, свидетельствуют о его бактериальном происхождении (-70‰) in situ. Метанообразующие бактерии используют легкие изотопы  $\delta\text{C}^{12}$ , при этом метан обогащается более легким изотопом углерода,  $\delta\text{C}^{13}(\text{CH}_4)$  определяется величиной от -50‰ до -97‰ [Зорькин и др. 1986]. Значения  $\delta\text{C}^{13}(\text{CH}_4)$  метана из газовыделяющих слоев на глубинах 20-130 м на Бованенковском месторождении меньше -70‰. Природный метан газоконденсатных месторождений Ямала тяжелее и имеет значения изотопного состава  $\delta\text{C}^{13}(\text{CH}_4)$  -43-50‰ [Бондарев и др. 2008]. Изотопный состав  $\delta\text{C}^{13}$  метана для криогенных пород других районов Арктики приведен на рис. 3.

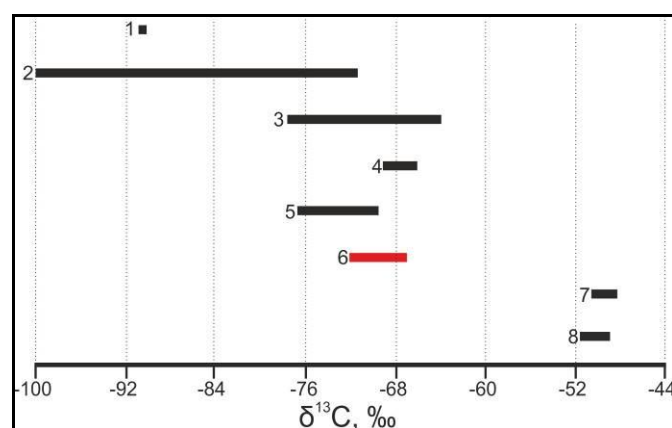


Рис. 3. Изотопный состав метана  $\delta^{13}\text{C}$ ,‰ в: 1 – современная почва, подошва сезонно-талого слоя по [Ривкина и др., 2006]; 2 – алаиховская свита (средний неоплейстоцен) по [Ривкина и др. 2006]; 3 – среднеплейстоценовый ледовый комплекс по [Ривкина и др. 2006]; 4 – аласные отложения по [Ривкина и др. 2006]; 5 – среднеплейстоценовые мерзлые морские отложения по [Бондарев и др. 2008]; 6 – подземный лед В и С (обсуждаемый в тексте); 7 - природный метан из месторождений (сеноман) [Бондарев и др. 2008]; 8 – атмосферный метан по [Bock et al. 2012].

Значения  $\delta\text{C}^{13}(\text{CH}_4)$  метана из ПЛ (В и С) и среднеплейстоценовых морских отложений Западной Сибири такие, как в метане выделенного из отложений ледового комплекса и аласов Северо-востока Арктики. Предполагается общий генезис метана во ПЛ и глубоких газосодержащих пластах, содержащих лед [Бондарев и др. 2008]. Мерзлые породы в зоне их сплошного распространения не способствуют миграции метана [Ривкина и др. 2006] и являются надежным экраном на пути глубинного метана, образованного термokatалитическом синтезе в нижней части земной коры или верхней мантии. На то, что источником метана в подземных льдах не является газ из нижележащих продуктивных пластов, указывает и значение D ( $\text{CH}_4$ ) - 326 ‰. Для термokatалитических газов значения D ( $\text{CH}_4$ ) больше -250‰ [Whiticar 1999].

## Заключение

При син- и эпигенетическом промерзании прибрежных отложений в субаквальных и субаэральных условиях образовывались ПЖЛ и ПЛ, в разной степени насыщенные метаном биогенного происхождения. Биогенный метан формируется за счет комплекса биохимических реакций, осуществляемых метанобразующими микроорганизмами (метаногенами), являющимися анаэробами. Больше всего метана обнаружено в воздушных пузырьках ПЛ. По значениям изотопов углерода по метану газ похож на флюидопроявления из верхней мерзлой толщи четвертичных отложений Бованенковского месторождения, полуостров Ямал.

Предполагается, что метан, содержащийся в пластах льда, при повышении температуры и при сокращении мощности мерзлоты, занимает освободившиеся полости и каверны в толще дисперсных отложений на глубинах 80-130 м, а деятельность метанопроизводящих бактерий может продолжаться при отрицательных температурах [Леин и др. 2003; Ривкина и др. 2006].

Количество метана во льду соизмеримо с количеством метана поступающего со дна Карского моря у западных берегов Ямала [Portnov et al. 2014]. Газопроявления на дне моря могут быть связаны не только с нарушением сплошности субаквальной мерзлоты, но и высвобождением метана in situ при оттаивании.

## Благодарности

Авторы выражают благодарность Б.Г.Ванштейну и Е.М.Ривкиной за помощь в анализе газового состава льдов и всем участникам полевых работ 2012-2014 года в районе Марре-Сале.

## Литература

Бондарев В.Л., Миротворский М.Ю., Зверева В.Б., Облеков, Г.И., Шайдуллин Р.М., Гудзенко В.Т. 2008. Газогеохимическая характеристика надсеноманских отложений полуострова Ямал (на примере Бованенковского нефтеконденсатного месторождения). // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, 5, с. 52-34.

Веригина К.В. 1965. Методы определения некоторых микроэлементов и железа в почве. Агрохимические методы исследования почв. – М., Наука, с. 305-322.

Зорькин Л.М., Суббота М.И., Стадник Е.В. 1986. Метан в нашей жизни. М., Недра, 151 с.

Каневский М.З., Стрелецкая И.Д., Васильев А.А. 2005. Закономерности формирования криогенного строения четвертичных отложений Западного Ямала (на примере района Марре-Сале). // Криосфера Земли. Т. IX (3). с. 16-27.

Леин А.Ю., Лейбман М.О., Саввичев А.С., Миллер Ю.М., Пименов Н.В. 2003. Изотопно-биохимические особенности подземного пластового льда

полуостровов Югорского и Ямал. // Геохимия. No.10. с. 1084-1104.

Ривкина Е.М., Краев Г.Н., Кривушин К.В., Лауринавичюс К.С., Федоров-Давыдов Д.Г., Холодов А.Л., Щербакова В.А., Гиличинский Д.А. 2006. Метан в вечномерзлых отложениях северо-восточного сектора Арктики. // Криосфера Земли, Т. X, № 3, с. 23-41.

Ривкина Е.М., Самаркин В.А., Гиличинский Д.А. 1992. Метан в многолетнемерзлых отложениях Колымо-Индигорской низменности. // Докл. РАН, Т. 323, №3, с. 559-563.

Стрелецкая И.Д., Каневский М.З., Васильев А.А. 2006. Пластовые льды в дислоцированных четвертичных отложениях западного Ямала. // Криосфера Земли. Т. X (2). с. 68-78.

Стрелецкая И.Д., Шполянская Н.А., Крицук Л.Н., Сурков А.В. 2009. Кайнозойские отложения Западного Ямала и проблема их генезиса. // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. № 3. с. 50-57.

Стрелецкая И.Д., Гусев Е.А., Васильев А.А., Рекант П.В., Арсланов Х.А. 2012. Подземные льды в четвертичных отложениях побережья Карского моря как отражение палеогеографических условий конца неоплейстоцена - голоцена // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. № 72. С. 28-59.

Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Облогов Г.Е., Матюхин А.Г. 2013. Изотопный состав подземных льдов Западного Ямала (Марре-Сале). // Лед и снег, №2 (122), с. 83-92.

Bock, J., Martinerie, P., Witrant, E., Chappellaz, J. 2012. Atmospheric impacts and ice core imprints of a methane pulse from clathrates Earth and Planetary Science Letters 349-350 98-108. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2012.06.052>

Leibman, M.O., Hubberten, H.-W., Lein, A.Yu., Streletskaia, I.D., Vanshtein, B.G. 2003. Tabular ground ice origin in the Arctic coastal zone: cryolithological and isotope-geochemical reconstruction of conditions for its formation. In: M. Phillips, S. M. Springman and L. U. Arenson (Eds.) Proc. of the 8th Int. Conf. on Permafrost (Zurich, Switzerland, 21-25 July 2003), vol 1, Lisse, Netherlands, A.A.Balkema Publishers, pp. 645-650.

Portnov, A., Mienert, J. & Serov, P.. 2014. Modeling the evolution of climate-sensitive Arctic subsea permafrost in regions of extensive gas expulsion at the West Yamal shelf, J. Geophys. Res. Biogeosci., 119, doi:10.1002/2014JG002685.

Whiticar, M.J. 1999. Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane Chemical Geology 161, p. 291-314.

Wright, J.F., Chuvilin, E.M., Dallimore, S.R. et al. 1998. Methane hydrate formation and dissociation in fine sands at temperatures near 0 °C. Permafrost: Proc. of the 7th Intern. Conf., Yellowknife, Canada, p. 1147-1153.

## Отбор штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород, по влиянию на адаптивные показатели растений.

А.М.Субботин

*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

М.В.Нарушко, Е.О.Симонова

*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Показано изменение морфобиологических показателей растений выращенных из семян, прошедших обработку препаратами бактерий выделенных из ММП. Отобраны штаммы бактерий из ММП для дальнейшего их использования с целью разработки препаратов, повышающих адаптационные свойства растений.

**Ключевые слова:** адаптивные свойства; бактериальные препараты; солеустойчивость; хлоридное засоление.

## The Selection of Strains of Bacteria Isolated from Permafrost, on Influence on Adaptive Indicators of Plants.

A.M.Subbotin

*Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

M.V.Narushko, E.O.Simonova

*Tyumen scientific center SB RAS, Tyumen, Russia*

### Abstract

It was shown that the change of morphophysiological parameters of plants grown from seeds that have passed treatment with preparations of bacteria isolated from permafrost. There were selected strains of bacteria from the permafrost for their further use for the development of drugs that increased the adaptive properties of plants.

**Key Words:** adaptive properties; bacterial preparations; salt tolerance; chloride salinity.

### Введение

Повышение адаптивных свойств сельскохозяйственных культур растений к неблагоприятным факторам внешней среды, стимуляция их показателей продуктивности, интродукция растений в зоны рискованного земледелия является важной задачей современного сельского хозяйства. В настоящее время для этой цели используются минеральные и органические удобрения, химические фитостимуляторы, которые при нерациональном использовании могут приводить к изменению экологической ситуации в неблагоприятном направлении. В значительно меньшей степени находят своё применение фитостимуляторы растений на основе различных бактериальных препаратов. Это связано со значительными затратами, связанными как с изучением биохимического потенциала микроорганизмов, их взаимодействия с растениями, так и с приживаемостью бактериальных препаратов при внесении их в почвы. Вопрос о взаимодействии микроорганизмов и растений, механизмах влияния микроорганизмов, активации необходимых признаков до сих пор остается открытым [Диагностика... 1988, Мелентьев 2007]. Внимание специалистов привлекают микроорганизмы, выделенные

из многолетнемерзлых пород (ММП) имеющих возраст десятки тысяч лет. Микробиологическая составляющая вечной мерзлоты обладает уникальными адаптивными ресурсами, изучение свойств которых открывает возможность переноса ряда подобных свойств в сложную биологическую систему [Субботин 2008]. При участии микроорганизмов возможно формирование биосистемы «микроорганизм-макроорганизм» [Баташева 2005].

Актуальность исследований связана с изменениями климата, возросшей антропогенной нагрузкой на фитобиоценозы, засолением и загрязнением почв.

### Материал и методы

В нашей работе был применен принцип прямого скрининга штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород (ММП) различных регионов Западной и Восточной Сибири, по их влиянию на растения при различных условиях проращивания семян. Исследуемые штаммы бактерий были выделены из кернов многолетне мерзлых пород (ММП) полученных при бурении скважин в районе Тарко-Сале (Тюменская область), которые были предоставлены нам кафедрой Криологии Земли Тюменского нефтегазового университета и из образцов ММП береговых отложений

реки Чара (Читинская область), отобранных в процессе экспедиционных работ. В эксперименте использовали 25 штаммов непатогенных сапрофитных, психротолерантных мезофильных бактерий. Видовой состав использованных штаммов бактерий определен методом сиквенса по 16S RNA.

Штаммы бактерий культивировали на мясопептонном агаре (ТУ 9385-001-64786015-2012, г. Углич) при температуре +24–+36°C. Через 2 суток культивирования микроорганизмы смывали с поверхности питательной среды стерильной дистиллированной водой в объеме 5 мл. Большинство известных микробиологических препаратов в рабочих концентрациях содержат  $1 \times 10^6$  –  $1 \times 10^{12}$  микробных тел на миллилитр раствора. Исходя из этого для тестирования штаммов нами были выбраны дозы микроорганизмов из ММП:  $1 \times 10^7$  –  $1 \times 10^9$  микробных тел на миллилитр раствора. Количество микробных клеток в 1 мл. воды определяли методом серийных разведений и затем доводили до рабочей концентрации  $1 \times 10^7$  –  $1 \times 10^9$  микробных клеток в 1 мл. воды с добавлением сахарозы до 5% для улучшения адгезии бактериальных клеток на поверхности семян.

Полученными взвешиваемыми бактериальными штаммами обрабатывали зерновки пшеницы мягкой (*Triticum aestivum* L.) и овса посевного (*Avena sativa* L.) путём их замачивания в течение 2 часов в приотвешенном бактериальном препарате [Диагностика... 1988]. Зерновки пшеницы высевали в прокалённый песок при температурах +22°C, +4°C.; зерновки овса помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, пропитанную 0,98% раствором NaCl и проращивали при температуре +22°C. Для оценки влияния микроорганизмов на повышение солеустойчивости овса использовался прямой универсальный метод учета изменения показателей прорастания семян в солевых растворах [Диагностика... 1988]. На 4 сутки оценивали энергию прорастания семян, на 7 сутки производили подсчет их всхожести. В процессе постановки экспериментов учитывали морфометрические показатели растений. В различных вариантах опытов использовалось по 100 семян растений для обработки каждым исследуемым штаммом бактерий, в трёхкратной повторности. Всего было протестировано 27 штаммов микроорганизмов из ММП (14 в экспериментах с разной температурой проращивания семян пшеницы и 25 - в эксперименте с семенами овса на фоне повышенной засоленности). По завершению эксперимента результаты были обработаны стандартными биометрическими методами с помощью программы Statistica for Windows.

## Результаты и обсуждение

В первой серии экспериментов семена пшеница проращивали при температуре +22°C и +4°C. Таким образом моделировались оптимальные условия для роста семян и условия раннего посева семян в холодную почву.

При температуре проращивания +22°C у семян пшеницы, обработанных 8 штаммами из 14 исследованных, всхожесть достоверно превышала значения в контроле от 20 до 40%. В остальных

вариантах всхожесть семян находилась на уровне контроля, либо ниже. При учете морфометрических показателей было установлено, что длина побега (в 7 вариантах опыта), длина coleoptily (в 8 вариантах опыта), длина корней (в 4 вариантах опыта), масса побега (в 3 вариантах опыта) были достоверно выше, чем в контроле. В 8 опытных вариантах при обработке семян достоверно увеличилось количество корней у проростков. При температуре проращивания +4°C всхожесть семян превышающая контроль наблюдалась лишь в двух случаях. В 6 вариантах всхожесть семян была на уровне контроля или ниже него. В остальных вариантах опыта семена не взошли. Анализ морфометрических параметров растений при температуре проращивания +4°C показал достоверное увеличение длины побега (в 2 вариантах опыта), массы побега (в 3 вариантах опыта), длины coleoptily, длины и массы корней (в 5 вариантах опыта соответственно). В 3 вариантах отмечено достоверное увеличение количества корней. С учетом всхожести и морфометрических показателей проростков пшеницы для дальнейшей работы было отобрано 4 штамма бактерий относящихся к роду *Bacillus*, положительно влияющих на развитие растений в раннем онтогенезе при различных температурах выращивания (рис.1).



Рис. 1. Всхожесть семян пшеницы при температуре проращивания +22°C (К-контроль, 1, 2, 3, 4 –опытные варианты с обработкой семян штаммами бактерий из ММП)

Во второй серии экспериментов семена пшеница проращивали в чашках Петри в 0,98% растворе NaCl, моделируя повышенную хлоридную засоленность субстрата.

Известно, что только в лесостепной зоне Тюменской области имеется 602,1 тыс. га засоленных земельных угодий. Из них под пашней находится 56 тыс. га, под пастбищами и сенокосами соответственно 52,4 и 33,5 тыс. га. [Гузеева 2007]. В связи с этим актуальным является вопрос о повышении устойчивости культурных растений к культивированию на засоленных почвах.

При определении солеустойчивости растений овса после обработки зерновок штаммами микроорганизмов, выделенных из ММП, длина побега (в 15 вариантах опыта), длина корней (в 20 вариантах опыта), масса побега (в 21 варианте опыта) были достоверно выше, чем

в контроле. В 14 опытных вариантах при обработке семян достоверно увеличилось количество корней у проростков. По результатам проведенных экспериментов с учетом всхожести и энергии прорастания семян было выявлено 5 штаммов бактерий, относящихся к трем родам (*Bacillus*, *Kocuria*, *Achromobacter*) положительно влияющих на адаптацию проростков овса к условиям хлоридного засоления.

Таким образом, показано влияние микроорганизмов, выделенных из ММП, на морфофизиологические показатели растений и возможность дальнейшего использования некоторых штаммов бактерий для разработки препаратов, повышающих адаптационные свойства растений. Два штамма исследованных бактерий рода *Bacillus* одинаково хорошо проявили себя как в экспериментах на пшенице, так и в экспериментах на овсе, способствуя повышению ростовых процессов растений в раннем онтогенезе при разных температурах проращивания и в условиях хлоридного засоления.

## Литература

- Баташева Б. А. Устойчивость растений ячменя к солевому стрессу/ Б. А. Баташева, А. А. Альдеров // Сельскохозяйственная биология. -2005.- № 5.- С. 56-60.
- Гузеева С. А. Состояние солонцовых почв юга Тюменской области и аспекты их освоения: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук/ С.А. Гузеева. – Тюмень: Издат-во ТГУ, 2007.- 18 с.
- Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: метод. руководство/ Всесоюзный НИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова «ВИР» : сост. :С.Н. Дроздов, Г.В. Еремин, Э.Л. Климашевский. – СПб, 1988.-226 с.
- Мелентьев, А. И. Аэробные спорообразующие бактерии *Bacillus Cohn* в агроэкосистемах / А. И. Мелентьев. – М.: Наука, 2007.- 147 с.
- Исследование влияния реликтовых микроорганизмов из мерзлых почв и льда на процессы регуляции жизнедеятельности макроорганизмов/ А.М. Субботин, Ю.Б. Трофимова, А.В. Брушков, Ю.Г. Суховой // Криогенные ресурсы полярных и горных регионов: Материалы междунар. конфер. – Тюмень, 2008. – 483-485 с.





## Температура мёрзлых пород в среднем течении р. Бол. Куонамки

И.И.Сыромятников, П.С.Заболотник  
Институт мерзлотоведения им.П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН), Якутск

### Реферат

В работе приводятся результаты натуральных наблюдений за температурой пород в слое годовых теплооборотов на различных типичных ландшафтах в долине реки Бол. Куонамки. Мощность слоя годовых теплооборотов изменяется в пределах 7-12 м. Температура пород колеблется в пределах от -3 до -9°C. Для мелкодолинных и долинных инженерно-мерзлотных комплексов для подошвы слоя годовых теплооборотов характерны зоны растепления ММП до температур -4,5...-5,5 °С. Наиболее "холодные" геотермические разрезы приурочены к пологим делювиально-солифлюкционным склонами, покрытым плакорными листовничниками с мохово-торфяным напочвенным слоем. Тепловое поле исследуемого района и бассейна нижнего течения р. Бол. Куонамки на значительной части территории имеет нестационарный характер и не соответствует современной среднегодовой температуре и другим климатическим показателям.

**Ключевые слова:** температура многолетнемерзлых пород; слой годовых теплооборотов.

## The Temperature of Frozen Rocks in the Middle Reaches of the River Bol. Kuonamka

I.I.Syromyatnikov, P.S.Zabolotnik  
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

### Abstract

This paper presents the results of field observations of permafrost temperatures within the layer of annual heat exchange in typical landscapes of the Bolshaya Kuonamka valley. The layer of annual heat exchange varies in thickness from 7 to 12 m. Ground temperatures range from -3 to -9°C. In small-valley and valley terrain units, warmer permafrost temperatures, from -4.5 to -5.5°C, are observed at the base of the annual heat exchange layer. The coldest temperatures are confined to gentle colluvial-soliflual slopes covered with interfluvial larch stands on the moss-peat layer. The temperature field in most of the study area and the lower Bolshaya Kuonamka is in unsteady state and is in disequilibrium with the present mean annual temperature and other climatic parameters.

**Key words:** permafrost temperature; layer annual of heat exchange.

### Введение

Долина среднего течения р. Большой Куонамки имеет большие перспективы для обнаружения россыпных месторождений алмазов. Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют кондиционные данные об основных параметрах криогенной толщи и температурного поля, которые позволили бы реально оценить воздействие промышленного освоения на окружающую природную среду и выполнить эффективную экономическую оценку россыпных месторождений.

Территория долины реки Большая Куонамка относится к области континентального и весьма холодного климата. Данные метеостанций Джалинда, Саскылах и Оленек позволяют судить о температуре воздуха и почвы, о количестве атмосферных осадков, о сроках образования и разрушения снежного покрова, а также о ветрах в этой области [Научно-прикладной справочник... 1989]. Средняя годовая температура воздуха составляет -14 °С.

Материалы исследований были получены в рамках выполнения работ по х/д 800/03–01/2011 с ОАО «Нижне-Ленское».

### Результаты и обсуждение

Геотермическими исследованиями, проведенными в конце 70-х годов прошлого века на притоках р. Большой Куонамки было установлено наличие низкотемпературной криолитозоны [Куницкий 1978 а, в]. В пределах низких цокольных террас фиксируется температура многолетнемерзлых горных пород (ММП) порядка -8,0...-8,6°C. Мощность слоя годовых колебаний температур изменяется от 7 до 15 м. Разрез, как правило, представлен до глубины 7-11 м сильно льдистыми рыхлыми отложениями, подстилаемыми коренными породами кембрийского возраста.

Нами в 2011-2012 гг. в рамках инженерно-геологической съемки 1:200 000 масштаба были проведены геотермические наблюдения на ключевом участке «Талахта», расположенном на устьевой части одноименной реки. На основе анализа полученных данных нами были выявлены некоторые особенности формирования температурного режима слоя годовых теплооборотов некоторых типичных ландшафтов долинного комплекса р. Бол. Куонамки.

Участок «Талахта» расположен в среднем течении бассейна р. Бол. Куонамки в устьевой части р. Талахта.

В пределах данного участка было пробурено 17 геотермических скважин глубиной 10 м, сгруппированных в два геотермических профиля (рис.1). Профили были заложены в крест простирания долин с охватом всех ландшафтов долинного комплекса.

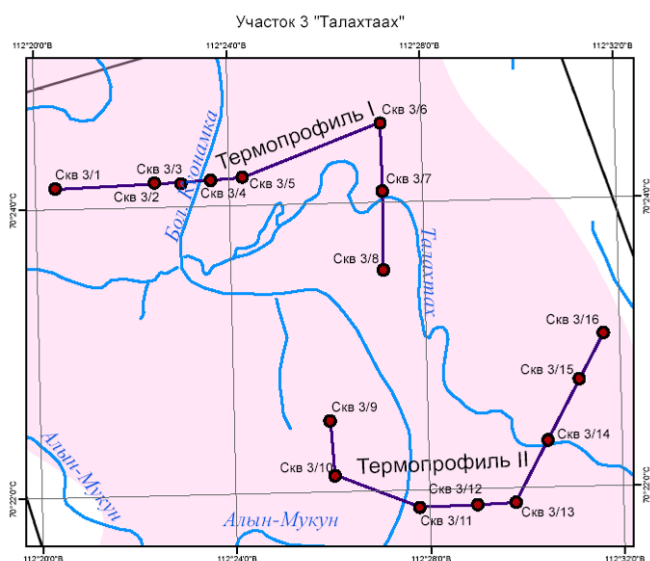


Рис. 1. Местоположение геотермических профилей и нумерация скважин на участке Талахта.

По долине р. Бол. Куонамки террасовые комплексы четвертичного возраста в основном представлены современными гравийно-галечными отложениями, слагающими узкую наклонную пойму, переходящую на цоколь высоких террас.

Анализ геотермических кривых показывает весьма высокую неоднородность теплового поля в пределах слоя годовых теплооборотов на различных ландшафтно-геоморфологических элементах, наличие зон

естественного растепления - тепловых аномалий. Их происхождение является предметом дискуссии.

Вообще, необходимо отметить, что температурное поле горных пород в пределах Анабарского щита и прилегающих структурных областей рассматривалось ранее как близкое к стационарному. Напомним, что среднегодовая температура здесь составляет около  $-12^{\circ}\text{C}$ . Определение геотермического поля как стационарного восходит к работам 1990 гг. [Балобаев и др. 1983], в которых полагается, что на Анабарской антеклизе температурное поле полностью соответствует современному климату.

В целом, тепловое поле в пределах участка характеризуется более низкими температурами на плакорах и пологих склонах. Тепловое поле слоя годовых колебаний температур зависит от характера слагаемых его отложений и ландшафтных условий.

На линии геотермического профиля I в скв. 3-6, пробуренной в Талахта-Куонамском междуречье на подошве годовых теплооборотов установлены температуры  $-2,3...-2,9^{\circ}\text{C}$  (рис.2; 3). В этой скважине, находящейся на водораздельной выположенной поверхности, структура и межсезонная динамика температур показывают процесс промерзания и охлаждения в зимний период до глубины 4-5 м и быстрого прогрева этой же мощности в летний период до температур выше  $-3^{\circ}\text{C}$ .

Отчасти это объясняется близостью коренных пород, разреженной растительностью и слабо развитым маломощным и прерывистым почвенным покровом, и так же предположительно связана с оттайкой и деградацией МПП на лишенных растительности вершинных поверхностях в бореальный оптимум голоцена.

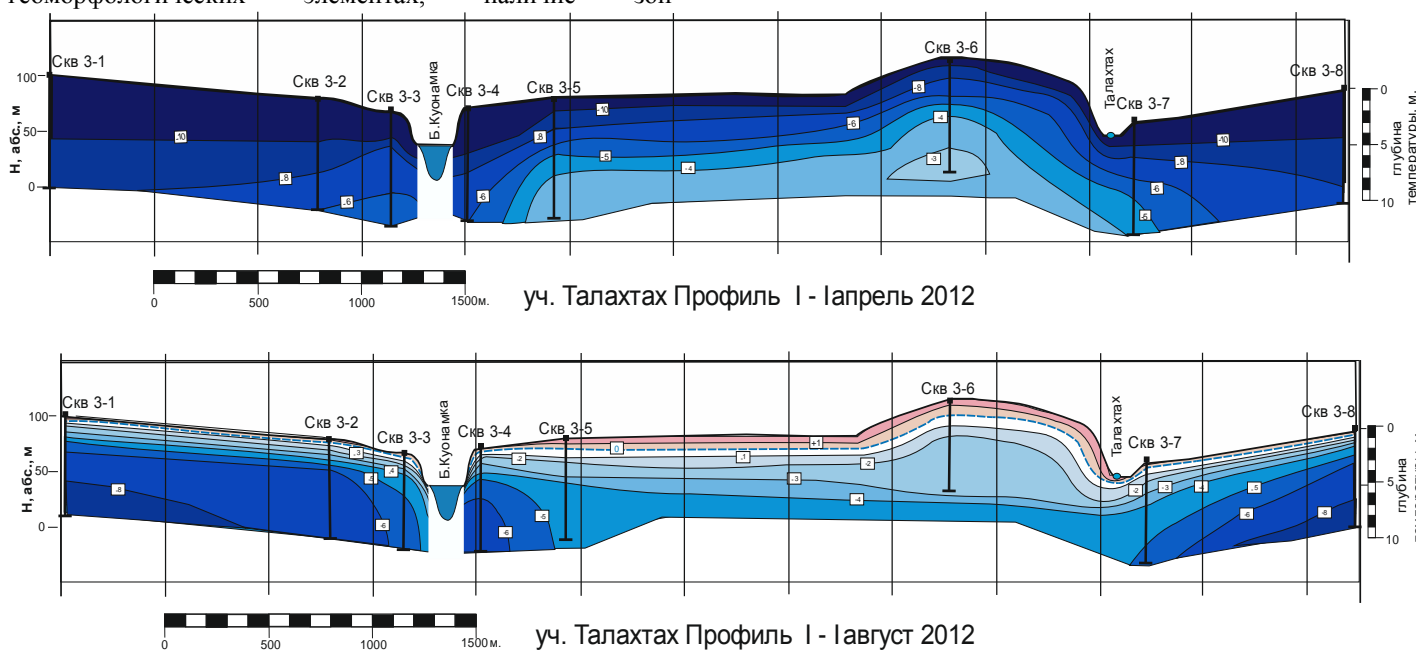


Рис.2. Геотермические профили I-I на участке Талахта для разных периодов наблюдений

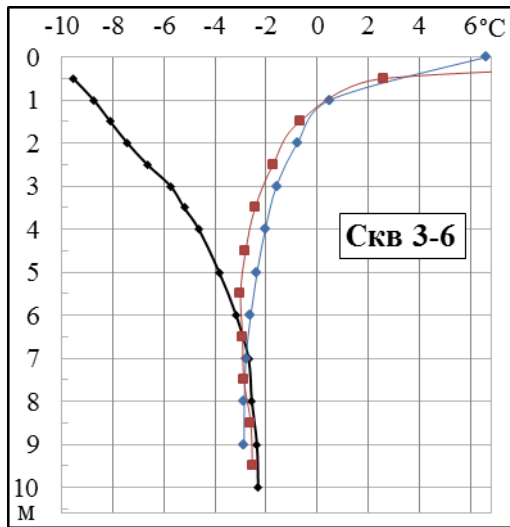


Рис.3. Результаты наблюдений в скважине 3-6.

Таким образом, результаты геотермических наблюдений по скважине 3-6 показывают на весьма нестационарный режим теплового поля в пределах слоя годовых теплооборотов некоторых фаций и геоморфологических элементов исследуемой территории.

Результаты геотермических наблюдений по скв. 3-6 показывают на весьма нестационарный режим теплового поля в пределах слоя годовых теплооборотов некоторых фаций и геоморфологических элементов исследуемой территории.

Наиболее "холодные" геотермические разрезы приурочены к пологим делювиально-солифлюкционным склонами, покрытым плакорными лишайничниками с мохово-торфяным напочвенным слоем. Эти склоны занимают огромные пространства и являются самым распространённым типом ландшафта.

В геоморфологическом отношении эти наиболее "холодные" участки с близким залеганием подошвы слоя годовых теплооборотов приурочены к специфическому рельефу веерообразных деллей, который маркирует отложения ледового комплекса повышенной мощности большим количеством льда различной структуры и условий залегания. К таким участкам относится правобережье р. Бол. Куонамки выше устья р. Талахта (скв. 3-13, 3-14, 3-15, 3-16, 3-17, 3-8) и правобережье р. Бол. Куонамки ниже устья р. Талахта (скв. 3-1, 3-2).

В качестве примера рассмотрим температуры в скв. 3-1 (рис.4). Залегание верхней кровли изотермического горизонта здесь устанавливается на глубине 9-10 м при температуре  $-8,7...-8,5^{\circ}\text{C}$ . Мощность слоя годовых теплооборотов по форме и пересечению температурных кривых, вероятно, составляет не более 10-12 м.

Сходные характеристики имеет разрез геотермической скв. 3-16 на правобережье р. Бол. Куонамки выше устья р. Талахта. Эта скважина, как и предыдущая, расположена на пологом склоне, сложенном отложениями ледового

комплекса. Морфоскульптура характеризуется развитием веерообразных деллей. Растительный покров образован сомкнутым лишайничником с подлеском их вересковых, гипоарктических кустарничков, кустарниковой березы и ольхи. Напочвенный ярус образован мохово-лишайниковым покровом. Подошва слоя годовых теплооборотов устанавливается в интервале 8-10 м и имеет температуру около  $-8,0...-8,6^{\circ}\text{C}$ .

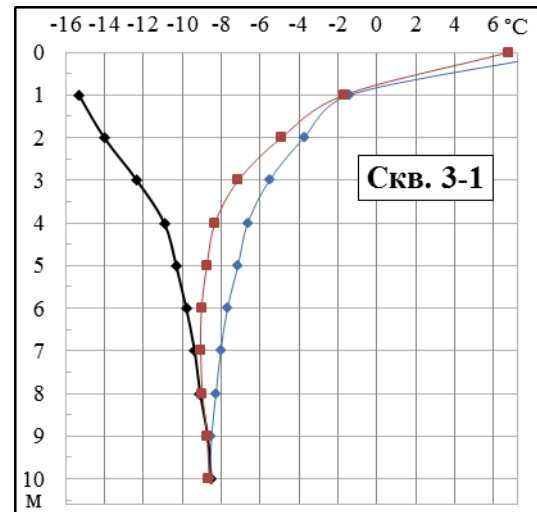


Рис.4. Результаты наблюдений в скважине 3-1.

Тепловое поле прирусловой части и первых надпойменных террас долины р. Бол. Куонамки в пределах участка Талахта представлено температурными разрезами скважин 3-3, 3-4, 3-7, 3-11, 3-12. Все они характеризуются повышенными значениями температур в интервале глубин 8-10 м. Вместе с тем, в большинстве скважин положение верхней границы горизонта изотермии и нижней границы слоя годовых теплооборотов устанавливается в пределах глубин 8-10 м. Скважины 3-11 и 3-12, расположенные, соответственно, на лево- и правобережье р. Бол. Куонамки вблизи бровок 1-й надпойменной террасы, характеризуются вариацией температуры на глубине 10 м в пределах  $-4,9...-5,8^{\circ}\text{C}$ .

Высокие температуры грунтов в пределах геотермического профиля II в скважинах скв. 3-9, 3-10, пробуренных на левобережье р. Бол. Куонамки на линии (рис. 5). Здесь в пределах пологой наклонной поверхности сложенной в основании коренными известняками перекрытыми отложениями ледового комплекса мощность 6-8 м в интервале от 7 до 10 м и глубже зафиксированы температуры выше  $-4^{\circ}\text{C}$ . В начальный период наблюдений в скв. 3-9 на глубине 10 м была замерена наиболее высокая температура  $-2,95^{\circ}\text{C}$ , которая к июлю 2013 г. снизилась до  $-3,42^{\circ}\text{C}$ , оставаясь, тем не менее, невероятно низкой для плакорных участков. Такие температуры не соответствуют современным климатическим условиям региона.

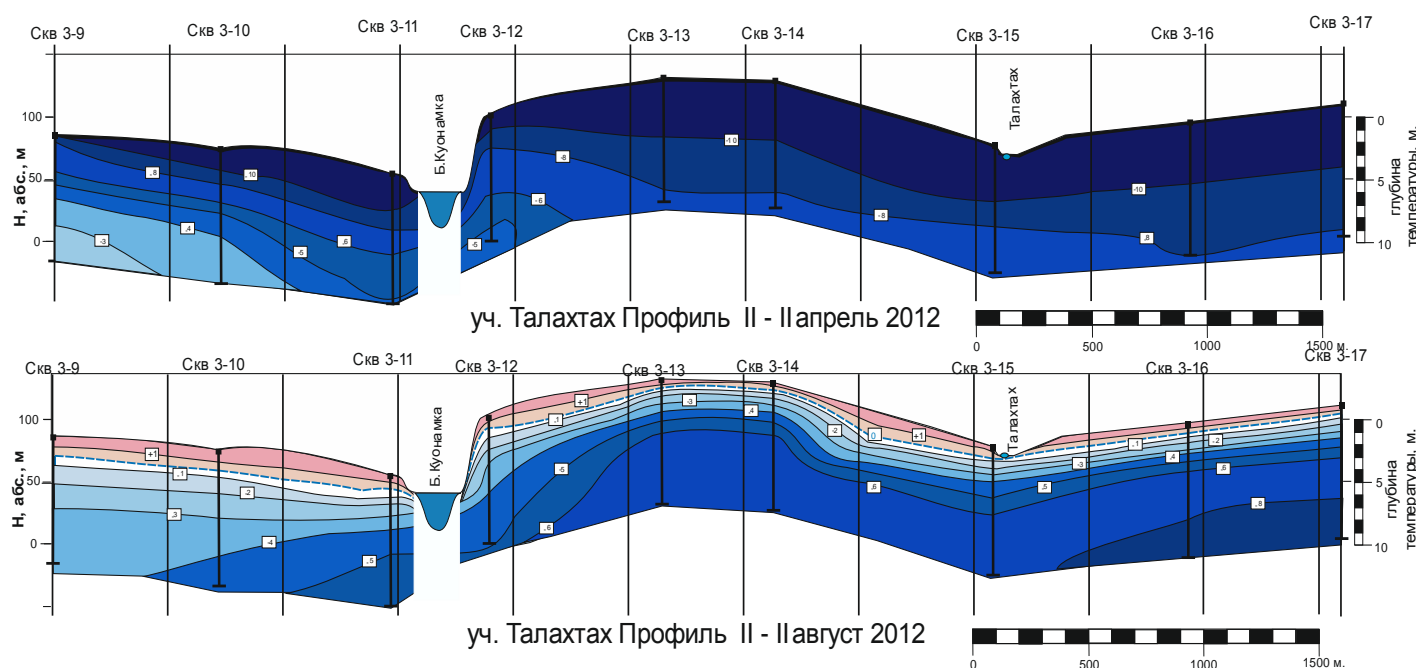


Рис.5. Геотермические профили II-II на участке Талахтах для разных периодов наблюдений

## Выводы

Тепловое поле исследуемого района и бассейна нижнего течения р. Бол. Куонамки на значительной части территории имеет нестационарный характер и не соответствует современной среднегодовой температуре и другим климатическим показателям. Наиболее близкими к стационарным в геотермическом отношении являются пологие склоны и плоские водораздельные пространства Куонамского междуречья сложенные преимущественно отложениями ледового комплекса. Ярким геоморфологическим критерием таких образований является рельеф веерообразных деллей. В ландшафтном отношении этим комплексам соответствуют слабо заболоченные средне сомкнутые и разреженные лиственничники с гипоарктическими кустарничками, кустарниками березы и ольхи в нижнем ярусе и развитым мохово-травянистым или мохово-лишайниковым покровом.

Мощность слоя годовых теплооборотов изменяется в пределах 7-12 м. На его подошве температура ММП колеблется в пределах от -3 до -9°C.

Для мелкодолинных и долинных инженерно-мерзлотных комплексов для подошвы СГТ характерны зоны растепления ММП до температур -4,5...-5,5 °С. Происхождение этих зон, прежде всего, связано с отоплением в результате теплового воздействия водотоков и подруслового стока, а также с более интенсивным надмерзлотным стоком вблизи бровок первой надпойменной террасы. Наибольшее тепловое воздействие на долинны комплексы водотоки оказывают

во время паводков. Зимой привносимый водными потоками тепловой эффект существенно сокращается, играя заметную роль только в пределах р. Бол. Куонамки и наиболее крупных притоков.

Склоновые типы местности обладают самыми разнообразными температурными условиями. Здесь зависимость температуры пород от экспозиции практически не наблюдается. На нагорных террасах, где широко развиты образования экстранивитов, независимо от гипсометрического положения, как правило, наблюдаются относительно низкие температуры ММП.

## Литература

- Балобаев В.Т., Павлов А.В., Перльштейн Г.З. и др. 1983. Теплофизические исследования криолитозоны Сибири. – Новосибирск: Наука, 1983. – 215 с.
- Куницкий В.В. 1978а. О криогенном строении покровных образований Анабаро-Оленекского плато // Общее мерзловедение. – Новосибирск: Наука, 1978а. – С. 87-95.
- Куницкий В.В. 1978б. О температуре многолетнемерзлых пород Прианбарской денудационной равнины // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. – Якутск: Изд-во Ин-та мерзловедения СО АН СССР, 1978б. – С. 42-49.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. 1989. Серия 3 Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 24 Якутская АССР. Книга 1. – Л: Гидрометеоиздат, 1989. – 607 с.

## Отклик геосистем криолитозоны на антропогенез

Н.В.Тумель, Л.И.Зотова

Россия, Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет

### Реферат

Излагается ряд концептуальных положений оценки и прогноза мерзлотно-экологической обстановки при освоении криолитозоны с точки зрения устойчивости северных геосистем к проявлению опасных криогенных процессов. Процедура оценки включает отбор ведущих литокриогенных и биоресурсных факторов, способы их сопоставления, ранжирование антропогенных нагрузок, выведение интегральных индексов для калибровки ландшафтов по уязвимости к освоению, составление оценочных ГИС-карт. Формирование различных экологических ситуаций основано на сопоставлении интенсивности антропогенной нагрузки (добыча полезных ископаемых, строительство, дигрессия оленьих пастбищ и др.) и потенциала устойчивости ландшафтов. Оценка и картографирование интенсивности активизации криогенных процессов при антропогенных воздействиях проведены в соответствии с их площадью, скоростью развития и затухания, нарушением естественных ландшафтов, угрозой для функционирования инженерных сооружений. Проанализированы различные сочетания опасных криогенных процессов в пределах криолитозоны России.

**Ключевые слова):** геоэкология; ГИС-картографирование; кризисные экологические ситуации; криогенные процессы; криолитозона; устойчивость ландшафта.

## Cryolithozone Geosystems Response on Anthropogenic Impacts

N.V.Tumel, L.I.Zotova

M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Russia, Moscow

### Abstract

A number of conceptual positions assessment and prediction of permafrost-ecological conditions under economic development in terms of northern geosystems sustainability to the manifestation of dangerous cryogenic processes are described. The assessment procedure includes a selection of main permafrost and bioresource factors, methods of their comparison, ranking anthropogenic pressure, calculating the integral coefficients of development hazard for the landscape calibration, evaluation mapping. The formation of different ecological situations based on the consideration of two factors: the degree of mechanical damage of the topsoil cover and the landscape resistance to these types of damage. During the environmental assessment the following data are used: the area affected by the processes, the rate of process development and attenuation, the degree of natural landscapes disturbances, the threat to the functioning of engineering structures. The various combinations of dangerous cryogenic processes within the permafrost zone of Russia were analyzed.

**Key Words:** critical ecological situations; cryogenic processes; cryolithozone; geoecology; GIS mapping; landscape stability.

### Введение

Как известно, экологическая составляющая большинства геоэкологических исследований заключается в оценке проявления экзогенных геологических процессов, что целесообразно рассматривать с позиций ландшафтного подхода, в основе которого лежит понятие об устойчивости ландшафтов к нарушениям. Это способность противостоять техногенной активизации криогенных процессов наряду с изменениями самих природных комплексов, которые могли бы привести к необратимому ухудшению экологической обстановки и недопустимым деформациям инженерных сооружений.

Для криолитозоны наиболее существенны механические нарушения, возникающие в ходе возведения и эксплуатации инженерных сооружений и добычи полезных ископаемых – прокладка линейных коммуникаций, сооружение кустовых площадок, бурение

скважин, разработка карьеров и т.д. К механическому виду нарушений следует отнести и столь характерный для Севера вид антропогенного воздействия, как выбивание, стравливаемость оленьих пастбищ вследствие перевыпаса, а также вырубка лесов, гари. Все эти нарушения активизируют развитие термокарста, солифлюкции, дефляции, способствуют расширению заболоченных площадей.

### Методика и результаты

Ключевой момент оценки – выбор ведущих критериев (факторов), влияющих на процесс оттаивания-промерзания и, как следствие, на активизацию криогенных процессов [Тумель и др. 2008]. Например: расчлененность рельефа; состав пород; температура грунтов; льдистость (влажность) пород; степень восстанавливаемости растительности; изменение глубин сезонного промерзания-протаивания. Всем ландшафтам присваивается соответствующий экспертный балл по

каждому из них. Баллы – это сравнительно-качественная оценка, которая дает возможность численного сопоставления и качественных, и количественных характеристик. Формально, уже на этом этапе (используя равномерные порядковые шкалы) можно сопоставлять и ранжировать покомпонентные баллы, выявляя наиболее и наименее устойчивые ландшафты. Однако для получения более корректной оценки ряд ученых предлагают определять размерность баллов, используя так называемые «центры качества» с построением интервальной шкалы [Зотова 2011]. В итоге, все ландшафты типизируются на ряд групп от относительно устойчивых до неустойчивых. Каждой группе соответствует свой спектр природоохранных мероприятий и ограничений хозяйственного использования.

В последнее время особую актуальность приобретает системный подход к оценке и картографированию мерзлотно-биотического состояния ландшафтов с целью выявления ареалов различной степени опасности как для инженерных сооружений так и для биоты. При этом используются факторы разнонаправленного действия. Так, при оценке литокриогенного состояния для инженерных целей выбирается ряд критериев, влияющих напрямую на потенциальную активизацию нежелательных криогенных процессов, связанных с фазовыми переходами воды. Это льдистость и температура мерзлых пород, глубина сезонного протаивания или промерзания, рельеф, теплоизоляционные свойства растительности и скорость ее самовосстановления. Для оценки эколого-биотического состояния природных комплексов выбираются показатели хозяйственной ценности (в первую очередь, оленеёмкость пастбищных угодий) и природоохранной значимости. Все факторы типизируются по трем-четырем градациям риска освоения, и далее различными способами сопоставляются. Простое суммирование баллов в этом случае исключено, так как в итоговом балле опасности закодирована реакция ландшафта на активизацию опасных процессов с учетом их природной ценности. Для выявления связи факторов (критериев) между собой применяют различные математические методы: корреляционный, регрессионный, кластерного анализа и др.

Используя ландшафтную основу и базу данных с конкретными значениями, каждый фактор можно отобразить в виде отдельного тематического слоя (льдистости, температуры грунтов и т. д.) и далее использовать «оверлей» (наложение). Это достаточно трудоемко и не всегда оправдано. Для облегчения картографирования проводится экспресс-оценка столь разнородных показателей с выведением интегральных индексов, как то: коэффициент мерзлотной устойчивости – КМУ, экологической опасности – КЭО, коэффициент опасности – Ко и пр. [Геоэкология криолитозоны 2014] Процедура оценки с помощью этих индексов следующая:

- отбор факторов экологической опасности, которые определяют активизацию криогенных процессов и ресурсный потенциал территории;
- составление таблицы шкалы градаций балльных интервалов;

- присвоение каждому ландшафту балльной оценки в соответствии с таблицей;
- ранжирование всех ландшафтов по уязвимости к освоению с учетом градаций расчетных индексов;
- оценочное картографирование.

В крупномасштабных исследованиях целесообразно использовать многофакторный корреляционный анализ оценочных критериев, который, во-первых, позволяет оценивать значимость того или иного фактора и, во-вторых, приближает качественную оценку к количественной. Во всех случаях традиционно используют экспертные баллы, которые либо просто складывают, либо выводят среднее арифметическое (реже – среднее геометрическое), либо используют расчетно-статистические методы. Достоинство баллов – возможность численного сопоставления количественных и качественных характеристик. Недосток – субъективизм при выборе показателей и при построении шкалы ранжирования, а также отсутствие у баллов некой размерности (что впрочем легко решается, если назначать баллы на фоне единой интервальной 100 центовой шкалы) [Зотова 2011].

Для оценки формирования различных геоэкологических ситуаций строится таблица-матрица, по горизонтальной оси – группы устойчивости в соответствии с градациями вычисленных индексов, а по вертикали – категории нагрузки [Зотова & Дедысова 2012]. Категории антропогенной нагрузки ранжируются по типам и видам механических нарушений, остаточной оленеёмкости, скорости восстановления растительности, доле нарушенных земель. Тип возможной ситуации определяется по сумме баллов в каждой ячейке матрицы на основе экспертной оценки характера проявления экзогенных процессов (по скорости развития опасных криогенных процессов и площади пораженной ими территории). В итоге, все ячейки объединяются в четыре группы, формируя типы геоэкологических ситуаций согласно нормативным документам Минприроды РФ по охране природы: относительно удовлетворительная, напряженная, критическая, кризисная. [Геоэкология криолитозоны 2014]. Каждая ситуация характеризуется определенным набором экзогенных процессов разной интенсивности.

Потенциальная опасность криогенных процессов определяется степенью их активизации и сочетании наиболее типичных процессов в пределах тех или иных природных комплексов [Экологический атлас России 2002]. На цветной мелкомасштабной карте России (рис. 1) выделено пять групп по степени активизации процессов. Степень активизации оценивается по следующим показателям:

- площади ландшафта, которая может быть поражена криогенными процессами;
- скорости развития процессов;
- степени преобразования и расчленения первичного рельефа и ландшафта в целом;
- возможности затухания процессов за счет естественных факторов.

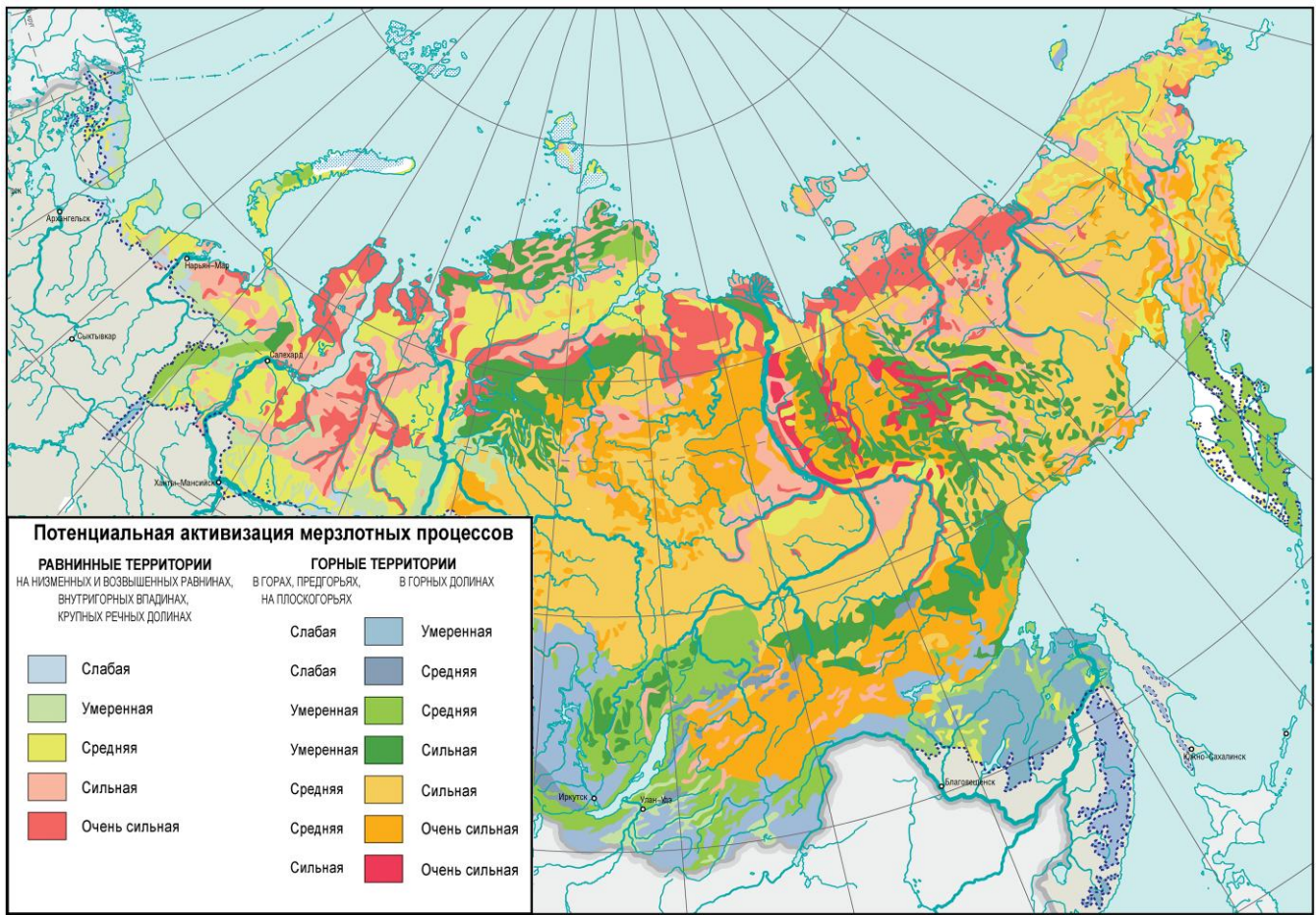


Рис.1. Активизация криогенных процессов

Оценка активизации мерзлотных процессов при обзорных исследованиях различна для равнинных и горных территорий. На равнинах оценивается вся площадь ландшафта. Для горных стран активизация процессов рассматривается отдельно в пределах собственно горного рельефа и в долинах.

Оценка степени активизации процессов основана на анализе следующих природных факторов – криогенное строение (или льдистость) и температурный режим пород в верхней части до глубины соответствующей слою годовых теплооборотов.

Из «немерзлотных» компонентов природы ведущее место принадлежит растительности и геолого-геоморфологическим условиям. Нарушение растительности является универсальным типом изменения теплообмена на поверхности и в этом смысле чаще всего является «спусковым курком» для активизации криогенных процессов. Ее роль двояка: в естественных условиях она является одним из ведущих стабилизаторов мерзлотных условий, выполняя теплоизолирующие и закрепляющие функции (протекторная роль растительности). После техногенного нарушения скорость восстановления растительного покрова влияет на затухание мерзлотных процессов.

Оценка влияния рельефа определяется разделением рельефа на равнинные и горные территории. Парагенетическая связь рельефа и геологического

строения обуславливает разное количество льда в породах.

Сочетания основных криогенных процессов объединены в 11 групп в соответствии с зональным и региональным разнообразием мерзлотных, ландшафтных и климатических условий. Эти группы характеризуются разными вариациями восьми наиболее экологически и технологически опасных и типичных криогенных процессов: термокарста, термоэрозии, термоабразии, морозобойного растрескивания, пучения, наледеобразования, солифлюкции, курумообразования.

Распространение различных сочетаний криогенных процессов представлено на черно-белой карте (рис.2). В легенде первые шесть групп характеризуют процессы, свойственные равнинным ландшафтам, а группы с 7 по 11 – горам, предгорьям, включая долины рек, расчленяющие эти территории.

Наибольшее распространение (четверть криолитозоны) имеет сочетание горнодолинных процессов, таких как: термокарст, термоэрозия, пучение, наледи, курумы, например, на северо-западе Средней Сибири и в горно-плоскогорном поясе северо- и дальневосточных хребтов. С экологических позиций следует помнить, что реальное освоение этих территорий незначительно, что снижает экологическую угрозу.

Во вторую группу вошли сочетания процессов в высокогорье или в пределах гольцовых ландшафтов, где

склоновые процессы сочетаются с наледями долин. Урал, горы юга и востока с более мягким климатом характеризуются долинным термокарстом и солифлюкцией и курумами в пределах склонов. В

Средней Сибири наблюдаются «плакорные» процессы (термокарст, пучение, наледообразование) и склоновые.

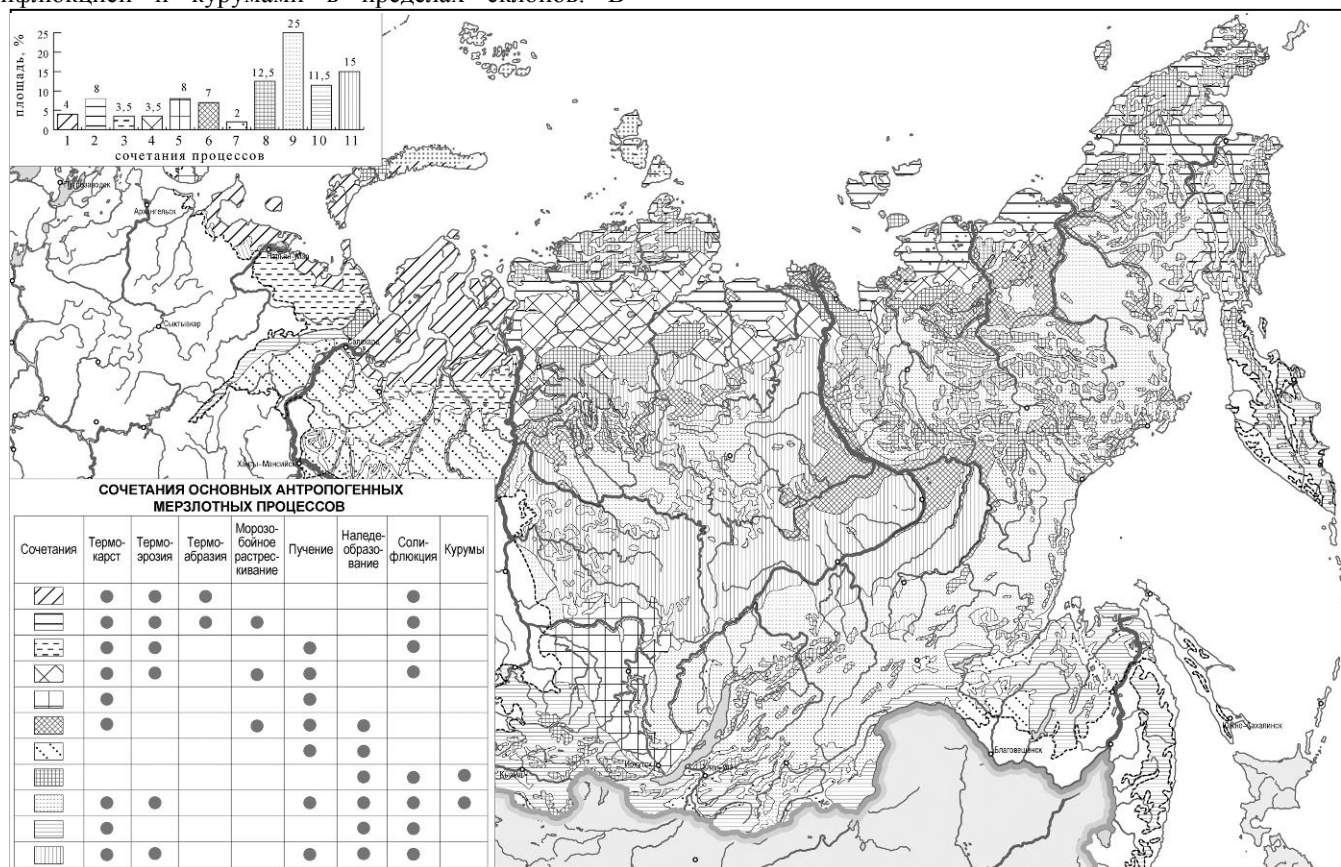


Рис.2. Сочетание основных антропогенных криогенных процессов

В третью группу входят комплексы процессов равнин и горных впадин, где активно идет освоение криолитозоны и со всей остротой встают экологические проблемы. В Западной Сибири и на Европейском севере России наиболее опасны термокарст, термоэрозия и термоабразия морского побережья. К югу, в зоне островной мерзлоты господствуют два процесса – термокарст и пучение. Высокие равнины, предгорья, межгорные впадины характеризуются различными сочетаниями термокарста, пучения, морозобойного растрескивания и наледообразования.

Концептуальные методические подходы для оценки реакции северных геосистем на антропогенез, на экологический риск освоения апробированы авторами на практике и более подробно излагаются в новом учебном пособии [Геозология криолитозоны 2014].

### Благодарности

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Программы поддержки ведущих научных школ РФ (грант НШ-335.2014.5).

### Литература

Геозология криолитозоны. 2014. /Тумель Н.В., Зотова Л.И. Учебное пособие. – М.: Издательский дом Россельхозакадемии, 2014. – 244 с.

Зотова Л.И. 2011. Теоретические и прикладные аспекты экспертной геозологической оценки опасности хозяйственного освоения в рамках новой образовательной программы. // *Материалы Четвертой конференции геокриологов России, МГУ имени М.В. Ломоносова, Июнь 7-9, Т.3, Часть 9, 2011: 224-231.*

Тумель Н.В., Зотова Л.И., Гребенец В.И. 2008. Концепция устойчивости криогенных ландшафтов. Из: *Географические научные школы Московского университета.* / Под ред. акад. Н.С. Касимова и др. – М.: Издательский дом «Городец», 2008: 139-144.

Экологический атлас России. 2002. Карта активизации мерзлотных процессов при механических воздействиях / Тумель Н. В., Востокова А. В., Королева Н. А. – СПб: Изд-во ЗАО «Карта», 2002: 50-54.

Zotova L.I., Dedyusova S.Yu. 2012. Evaluation of Critical Ecological Situations in the Tyumen Northern Cryolithozone under Economic Development. *Tenth International Conference on Permafrost. Vol. 2: Melnikov, P.I. (ed.). The Northern Publisher, Salekhard, Russia, 2012: 543-548.*



## Мониторинг техногенных изменений ландшафтов с помощью повторного крупномасштабное картирования (северная тайга, Западная Сибирь)

Е.В.Устинова

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Картографический мониторинг проводится в северной тайге в пределах Надымского стационара в естественных условиях и в полосе трассы магистрального газопровода. Под влиянием техногенных нарушений произошла активизация термокарста, пучения и заболачивания, началось развитие дефляции на дренированных участках, сложенных песками. На участках болот, примыкающих к газопроводу, возникли зоны подтопления. Первоначально нарушенная площадь природных комплексов за счет появления новых озерков увеличилась на 22%. С использованием повторных аэрофотосъемок и наземных исследований построена серия разновременных карт геосистем изученного участка, начиная с 1970 г.

**Ключевые Слова:** климат, криогенные процессы, ландшафты, картирование, мониторинг, многолетнемерзлые породы, техногенез.

## Monitoring of Technogenic Landscapes Using Large-Scale Mapping (Northern Taiga, West Siberia)

E.V.Ustinova

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Cartographic monitoring is carried out in northern taiga within the Nadym site in natural conditions and along the gas pipeline. Thermokarst activation, frost heave, and water-logging occurred under the influence of anthropogenic disturbances. Deflation has started on drained areas composed of sand. Waterlogging zones emerged in bog areas adjacent to the pipeline. Assessment of the disturbed areas has shown that the initially disturbed natural system area increased by 22% due to the emergence of new lakelets. Using aerial photography images together with ground surveys we created a series of geosystems maps for 1970-2010-th years.

**Key words:** climate; cryogenic processes; landscape; mapping; monitoring; permafrost, technogenesis.

### Введение

Существует тесная взаимосвязь между развитием растительности и процессами, происходящими в области вечной мерзлоты. Одним из важных методологических подходов для выявления нарушенных земель и научного обоснования природопользования в условиях криолитозоны является инженерно-геокриологическое и геоэкологическое картографирование, при котором используется системный подход – все компоненты природной среды и деятельность человека рассматриваются в тесной взаимосвязи.

### Объекты и методы

Исследования проводились в пределах Надымского стационара, расположенного в 30 км южнее г. Надыма (65°18'с.ш., 72°51'в.д.). Северо-таежные ландшафты Надымского района Тюменской области расположены в подзоне северной тайги Полуи-Надымского междуречья в краевой части III озерно-аллювиальной равнины.

Объектом являются геосистемы Надымского стационара, расположенного в полосе трассы газопровода «Надым-Пунга», где в 1970 году проводились ландшафтные и инженерно-геокриологические съемки ненарушенных геосистем.

Позднее для оценки техногенных нарушений выполнялось картографирование нарушенных геосистем, стационарные наблюдения за растительным покровом, мощностью и влажностью сезонноталого слоя, температурой почв и пород под влиянием изменений климата и техногенных нарушений.

### Результаты

Для изучения взаимосвязи и взаимодействия компонентов геосистем на стационаре были разбиты 3 профиля, на которых были выявлены закономерности распространения фаций и урочищ, определены их площади. Профиль I-I на 8 км трассы газопровода прошел через торфяно-минеральный и минеральный бугры пучения. Наблюдения на профиле начались в 1977 году через 5 лет после укладки трубопровода в насыпи. Профиль II-II на 9 км трассы газопровода организован на плоском торфянике. Профиль III-III проходит по заболоченному мелкобугристому участку и через карьер. Во время работы на профилях были сделаны наблюдения, дающие возможность судить о развитии природных процессов, совершающихся в ландшафте.

В районе исследования в 1970 году – до начала линейного строительства выделяется 14 видов фаций. Доминируют мелкобугристые тундровые участки с



С 1984 года до 2004 года наблюдается восстановление ландшафтов. Сравнивая ландшафтные карты 1970 года и 1998 года (рис.1, 3) и гистограмму (рис. 6) видно влияние газопровода. Создание дорог, проезд транспорта и

возведение ЛЭП отрицательно влияют на мерзлотные ландшафты, так как линейные сооружения препятствуют движению поверхностных и фильтрационных вод.

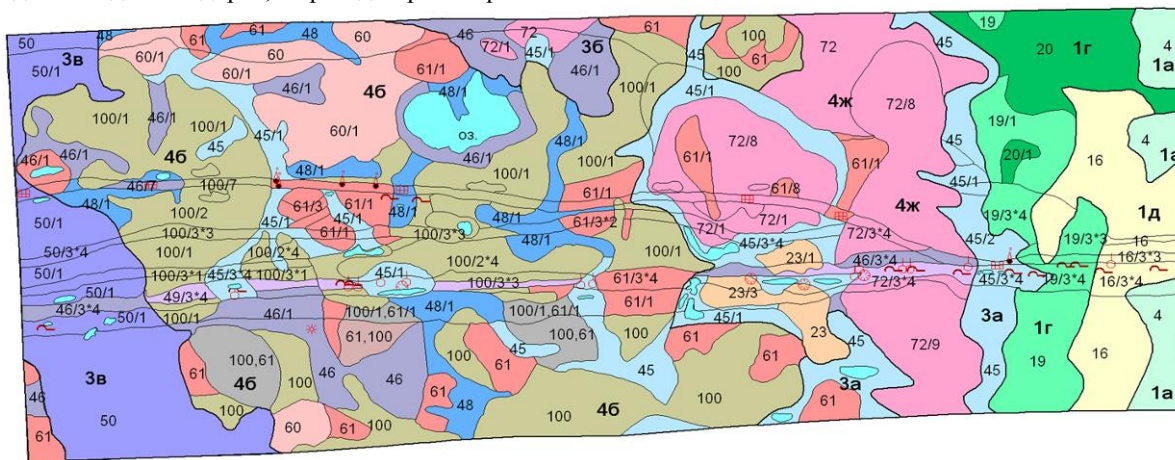


Рис.3. Ландшафтная карта 1998 года

Техногенные нарушения (цифры справа от индексов): 1 - частичное уничтожение растительности в результате разового проезда транспорта; 2 - уничтожение большей части растительности, нарушение микрорельефа, верхнего слоя почвы в результате многократного проезда транспорта; 3 - снятие растительности, нарушение микрорельефа, 4 - погребение и уничтожение растительности, нарушение стока в результате образования навалов из снятой растительности; 7 - уничтожение растительности и почвы, нарушение рельефа в результате сооружения карьеров; 8 - снятие растительности и торфяного слоя мощностью 0,3-1м; 9 – погребение и уничтожение растительности, нарушение стока микрорельефа в результате прокладки насыпной дороги.

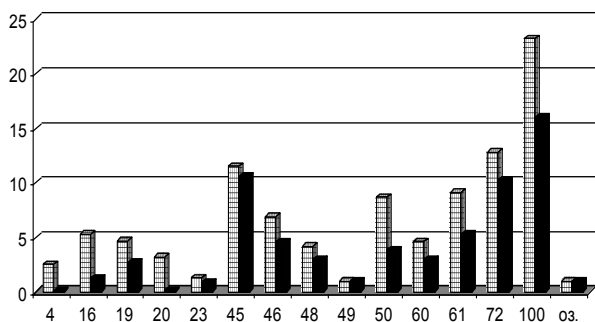


Рис.3. Соотношение площадей фаций и нарушений в разные годы 1970 и 1998

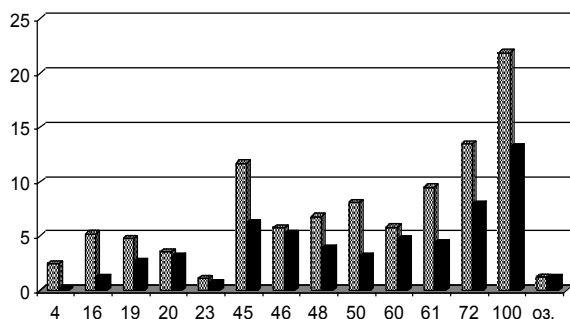


Рис.4. Соотношение площадей фаций и нарушений в разные годы 1970 и 2011 г.

ширина зоны нарушения природной среды вдоль трассы I нитки газопровода Надым-Пунга в северной тайге Западной Сибири изменяется от 40 до 100м. Анализируя гистограмму (рис.4), карту 2011г видно увеличение доли сфагновых болот и уменьшение доли торфяников, т.е. происходит процесс заболачивания.

Анализируя гистограмму по всем годам, начиная с 1970 года (рис.5), можно сделать вывод, что первоначальная пространственная структура геосистем не восстановилась. По данным автора и исследованиям О.Е.Пономаревой [Антропогенные изменения... 2006], следует, что на плоских недренированных или слабодренированных участках снятие растительного покрова приводит к активизации заболачивания. На этих участках возникают торфяно-моховые болота, сохраняющиеся в изменившихся условиях неопределенно долгое время.

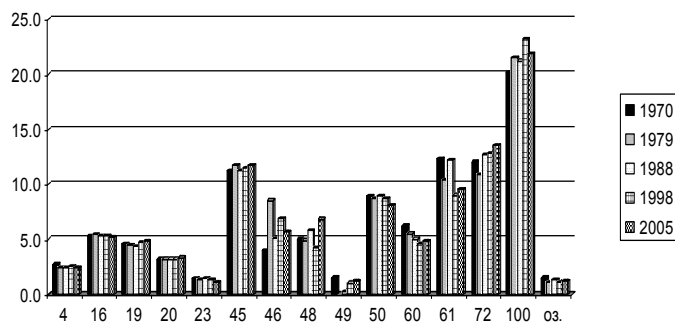


Рис.5 Соотношение фаций по годам.

В 2004 году был произведен ремонт газопровода и замена труб. По данным, полученным в результате повторной крупномасштабной съемки (в 2010-2011г.),

Изученные геосистемы представляют собой специфические природные образования - мерзлотные

ландшафты, формирующиеся, развивающиеся и функционирующие под воздействием криогенного фактора. Нарушение условий теплообмена мохово-торфяного покрова на поверхности, неизбежно возникающее при всех видах внешнего воздействия, приводит к изменениям теплового состояния литогенной основы мерзлотных ландшафтов (испарения в 1,5—2,5 раза, радиационного баланса на 5—15%, средней годовой температуры грунтов на 0,7...2°C, глубины сезонного протаивания в 2-4 раза) и как следствие - развитию криогенных процессов [Антропогенные изменения экосистем... 2006].

Интенсивность техногенных нарушений теплового равновесия почв и горных пород в количественном отношении на несколько порядков больше по сравнению с теми, которые вызваны колебаниями климата.

Мерзлотные ландшафты менее устойчивые к антропогенным воздействиям. Могут произойти необратимые изменения исходного ландшафта – вплоть до полной деградации, и на его месте формируется новый природный комплекс с иным набором компонентов. Например, на месте леса формируется болото или на участке, до нарушения занятым тундровым природным комплексом, возникает термокарстовое озеро.

Проведение картографирования позволило сравнить площади нарушений в разные годы и проследить увеличение ширины зоны нарушения слабоустойчивых геосистем (например, на мелкобугристых болотах с 30 до 65м). Расширение зоны нарушения связано также с влиянием подтопления и развитием термокарста и заболачивания в прилегающих к трассе и первоначально не нарушенных природных комплексах, обусловленного изменением условий стока поверхностных и подземных вод. Подсчет нарушенных площадей показал, что больше всего нарушений было в 2004-2006 годах при замене труб на газопроводе. Первоначально нарушенная площадь природных комплексов за счет появления новых озерков увеличилась на 22%.

Сравнивая гистограммы фаций и нарушенных площадей разных лет, можно сделать вывод, что самыми нарушенными являются болота. Из 14 % площади, которую занимают торфяные болота, на долю нарушенных участков приходится 12%. Кроме этого, встречаются участки косвенного влияния техногенных образований на ландшафты прилегающей территории. Отсыпка насыпи на газопроводе приводит к увеличению нарушенных площадей, подтоплению болотных геосистем. В результате нарушается сток и, как следствие, все это приводит к появлению новых озер.

Анализ составленных карт разных временных срезов позволил проследить изменения площадей техногенных нарушений и тенденции развития экосистем под влиянием климатических изменений и нарушений. Ширина зоны нарушений увеличилась в слабоустойчивых экосистемах (например, на мелкобугристых участках в 2 раза).

## Заключение

Многолетние ландшафтные и инженерно-геологические исследования (1970-2011 гг.), проводившиеся в полосе трасс газопровода Надым-Пунга, позволили проследить изменения геологической среды, нарушенной в результате линейного строительства. Интенсивное воздействие в неблагоприятных природных условиях приводит к необратимым сменам геосистем. В зависимости от интенсивности воздействия и в различных природных условиях техногенные нарушения вызывают разную степень деградации геосистем.

Разработана типизация техногенных нарушений и выполнена инвентаризация новых техногенных нарушений, связанных с ремонтом газопровода. Составленная ландшафтная карта после завершения инвентаризации техногенных нарушений преобразована и отражает современное состояние геосистем.

На трассе газопровода Надым-Пунга происходили неоднократные техногенные воздействия на ландшафты и за 40 лет наблюдений в первоначальное состояние геосистемы не вернулись.

## Литература

- Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции // Отв. ред Н.Г. Москаленко. – М.: РАСХН; ИКЗ СО РАН, 2006. – 358 с.
- Григорьев Н.Ф. Формирование техногенных мерзлотных ландшафтов в северных районах Тюменской области // Техногенные ландшафты Севера и их рекультивация. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. -С.35-44.
- Граве Н.А., Мельников Е.С., Москаленко Н.Г. Геокриологические вопросы охраны ландшафтов при освоении нефтегазонасных районов криолитозоны // Вестн. МГУ. Сер. геогр.-1983.- №4.- С.36-41.
- Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. – Новосибирск: Наука, 1983. – 163 с.
- Невечера В.Л., Ивлев А.Ю., Рыжова В.М., Котлова Е.В. Повторная инженерно-геологическая съемка как методика оценки устойчивости инженерно - геокриологических условий при освоении месторождений природного газа на севере Западной Сибири // Проблемы охраны окружающей среды в нефтяной и газовой промышленности: Тез. докл. – М., 1985.-С.69-71.
- Суходольский С.Е. Нарушения природной среды и их последствия при строительстве линейных сооружений на севере Западной Сибири // Охрана окружающей среды при освоении области многолетнемерзлых пород. – М.: Наука, 1980.-С.67-71.

## Перспективы развития современных геофизических исследований ЯНАО: многоцелевая инженерно-геофизическая лаборатория

А.Н.Фага

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (ИНГГ СО РАН), Новосибирск*

А.Н.Зайцев

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва*

А.А.Гидеон

*АУ ЯНАО «Окружной технологический парк "Ямал"», Салехард*

### Реферат

Инженерно-геофизическая лаборатория предназначена для решения широкого круга геокриологических и геотехнических задач, возникающих при строительстве и эксплуатации инженерных объектов.

**Ключевые слова:** Инженерно-геофизическая лаборатория, электроразведка, электротомография, сайт «Полярная геофизика Ямала»

## Development of modern geophysical research in Yamalo-Nenets Autonomous District: multipurpose engineering geophysical laboratory

A.N.Faga

*Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch RAS (IPGG SB RAS), Novosibirsk, Russia*

A.N.Zaytsev

*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Waves Propagation RAS (IZMIRAN), Moscow, Russia*

A.A.Guideon

*Yamal "District technology Park "Yamal", Salekhard, Russia*

### Abstract

Engineering-geophysical laboratory is designed to address a wide range of permafrost and geotechnical problems encountered during the construction and operation of engineering facilities.

**Key words:** Engineering-geophysical laboratory, electro-survey, ERI, website "polar Geophysics of Yamal"

### Актуальность инженерно-геофизических исследований в ЯНАО

Геофизические исследования актуальны для территории всего ЯНАО и Арктической зоны РФ. В 2013 году Общество с ограниченной ответственностью "Межрегиональный инженерно-технологический внедренческий центр" с проектом «Инженерно-геофизическая лаборатория» вошел в реестр субъектов инновационной деятельности ЯНАО. Задачи лаборатории: расчленение разреза по литологии, картирование в плане и выделение в разрезе пластовых льдов, криопеггов, засоленных грунтов, таликовых зон, поиски подземных вод, поиски мест утечек из трубопроводов и гидротехнических сооружений, определение длины погруженных свай, строительство автомобильных и железных дорог. Потенциальными заказчиками на проведение инженерно-геофизических исследований являются проектные, строительные и дорожно-строительные организации, служба путей Ямальской железной дороги, коммунальные службы муниципальных образований.

Работы по исследованию грунта методом электротомографии проводились на участках контрастной прерывистой и островной мерзлоты в рахзных районах ЯНАО:

- участок дороги Салехард-Аксарка, ЯНАО;
- участок малоэтажной застройки в планировочном квартале 01:02:11 в г. Лабытнанги, ЯНАО;
- площадка в строящемся микрорайоне Тундровый, г. Новый Уренгой, ЯНАО.

Содержание работ: изучение строения подповерхностного пространственного распределения электропроводности на глубину до 20 и 40 метров методом электротомографии с применением автоматической электроразведочной станции Скала-48 в конфигурации Шлюмберже для точного определения границ геологических сред. Инженерно-геологическая интерпретация полученных данных.

### Исследование грунтов методом электротомографии на участке дороги Салехард-Аксарка



**Цель работы:** первоначальное определение геологической картины объекта; локализация аномальных зон – мест перехода твердомерзлых грунтов к пластичномерзлым, а затем к участкам оттаивания. Настоящие работы проводились 23 июня 2014 года.

В процессе исследования были построены 2 профиля. Профиль 1 заложен в основании дорожной подушки – на контакте дорожного откоса и тундры. Цель: изучение текущего состояния грунта в непосредственной близости от дорожной насыпи (рис.1).

Профиль 2 сделан параллельно дороге на удалении 50 метров от кромки откоса и призван показать состояние нетронутой тундры (рис.2).

Профили 1 и 2 построены в направлении запада на восток (Салехард-Аксарка – нулевая точка на профилях находится ближе к Салехарду). Анализ полученных данных позволил судить о существенной неоднородности грунтов на исследованном участке. Эта неоднородность характеризуется переходом грунтов из твердомерзлого состояния в пластичномерзлое или талое.

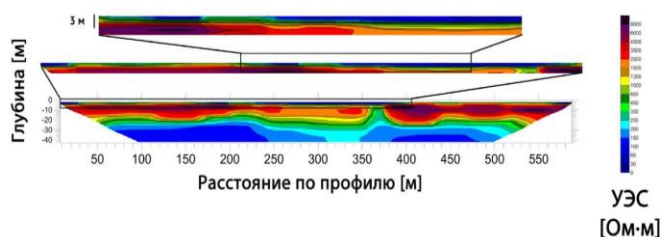


Рис.1. Геоэлектрический разрез по профилю 1 на глубину 40 метров

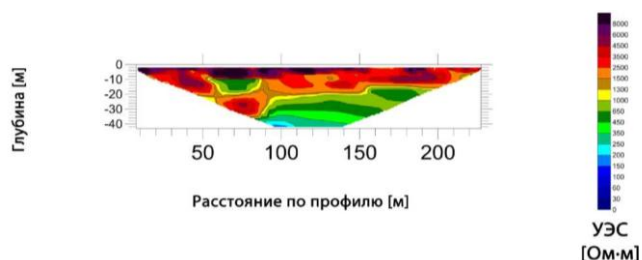


Рис.2. Геоэлектрический разрез по профилю 2 на глубину 40 метров

Под тяжестью дорожной отсыпки пластичномерзлые и оттаивающие грунты основания оседают и вдоль дороги создается постоянно заболоченное понижение, за счёт чего дорожная насыпь насыщается водой. Одновременно идёт активное проникновение тепла в грунты основания (рис.3). При замерзании в зимний период происходит пучение насыпи.

#### **Заключение по участку:**

Дорога Салехард-Аксарка вносит существенные изменения в температурный режим непосредственно примыкающих к ней грунтов. Согласно материалам по дорожному строительству в условиях Крайнего Севера дорожное сооружение должно формироваться одним из трех способов: сохранение вечномерзлых грунтов в основании земляного полотна в течение всего периода эксплуатации дороги; частичное оттаивание мерзлых

грунтов основания на величину, определяемую расчетом; оттаивание вечномерзлых грунтов до начала строительства дороги и осушение придорожной полосы. В любом из приведенных выше случаев, при соблюдении технологии, деформация насыпи и дорожного полотна исключается.

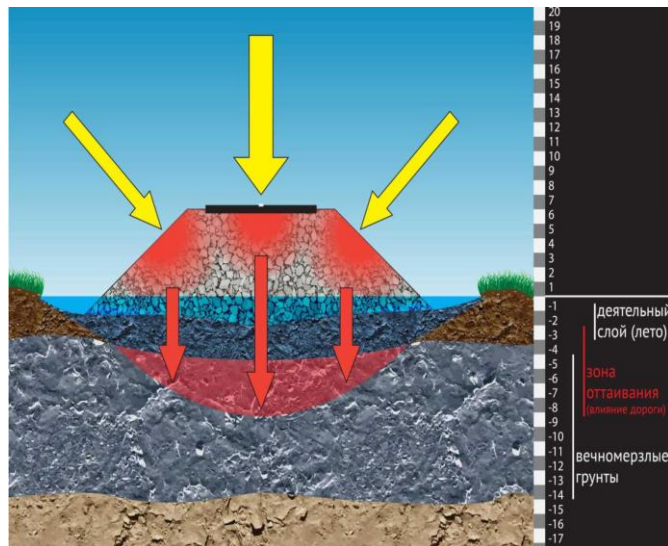


Рис.3. Тепловая энергия беспрепятственно проникает в землю вследствие недостаточной высоты насыпи (4 метра вместо 12 необходимых).

#### **Предлагаемое АУ ЯНАО «Окружной технопарк «Ямал» решение по устранению проблем на участке дороги:**

- 1) в холодное время года необходимо выровнять и увеличить высоту насыпи минимум до 7 метров;
- 2) перед укладкой асфальта дорожное полотно необходимо утеплить композиционным материалом из нефтеполимерных смол (обработать жидкостным составом слой щебня) или керамзитобетоном (слой порядка 0.5-1 метра);
- 3) откосы утеплить и гидроизолировать при помощи композиционного материала (смесь местного грунта и специальной полимерной компоненты).

#### **Исследование грунта методом электротомографии малоэтажной застройки в планировочном квартале 01:02:11 в г. Лабитнанги**

**Цель работы:** первоначальное определение геологической картины объекта. Настоящие работы проводились 22-23 июня 2014 года.

Объект исследований представляет собой две площадки, предназначенные под строительство домов коттеджного типа в городе Лабитнанги, ЯНАО. Площадки условно разделены на северную и южную часть.

Результаты измерений: сине-зеленая область соответствует увлажненным породам, имеющим температуру выше нуля градусов Цельсия — глинам,



суглинкам и супесям; красно-оранжевые области приурочены к пылеватым пескам, возможно сезонно-мерзлым, (интервал залегания от 0 до 10 метров) и вечномерзлым (интервал залегания от 10 до 20 метров) грунтам.

#### Заключение по участку:

Грунты площадки рекомендуется использовать в качестве основания зданий и сооружений по I принципу строительства на вечномерзлых грунтах с выполнением комплекса мероприятий по повышению несущей способности грунтов.

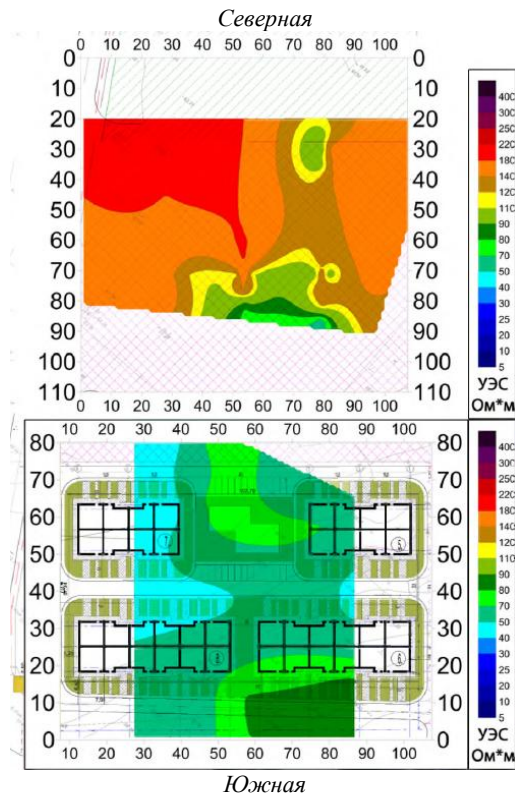


Рис.4. Построенные на основе полученных профилей горизонтальные геоэлектрические разрезы на глубине 13 метров.

### Исследование грунта методом электротомографии на площадке в строящемся микрорайоне Тундровый, г. Новый Уренгой

**Цель работы:** Апробация метода электротомографии в условиях Северных широт; определение степени информативности данных, получаемых при помощи метода электротомографии при исследовании грунтов, осложненных наличием многолетнемерзлых пород. Настоящие работы проводились 16-17 июля 2013 года.

Результаты измерений: выполненная интерпретация данных свидетельствует о том, что вплоть до отметки 20 метров значительные массивы вечномерзлых грунтов отсутствуют. Попадают лишь отдельные «островки» (объект в желто-оранжевой цветовой гамме, рис.5). Заложенные на участке геофизические профили

позволили обнаружить обширную зону обводненных пород и зону суглинков, супесей.

#### Заключение по участку:

Консолидированные участки многолетнемерзлых пород находятся на глубинах 25 метров и выше. Отдельные мерзлотные проявления находятся на глубинах от 7 метров (красные области на геоэлектрическом разрезе по профилю 2 в интервалах 110-160 м и 230-250 м).

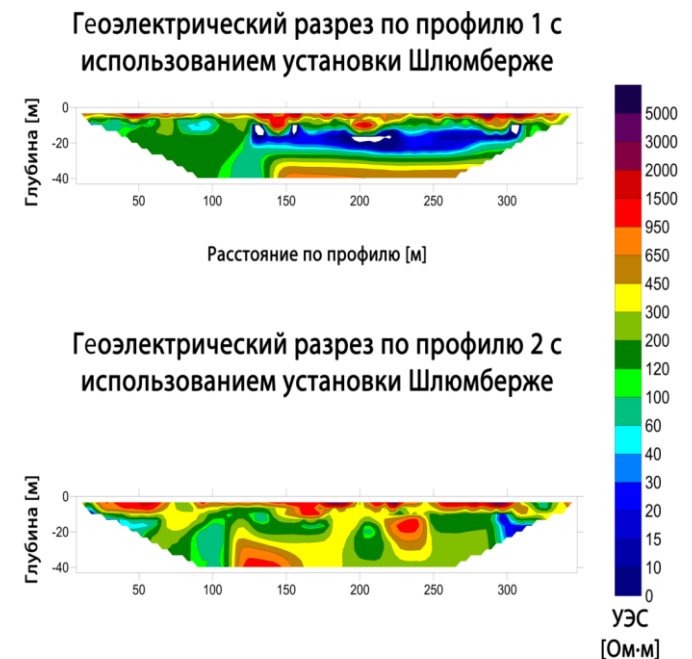


Рис.5. Геоэлектрические разрезы по профилям 1 и 2 на глубину 40 метров.

### Заключение

#### Исследование методом электротомографии позволяет:

- значительно сократить объемы бурения, а значит и понизить затраты на инженерно-геологические изыскания;
- повысить эффективность инженерно-геологических изысканий и предоставлять более детальное непрерывное представление об изучаемом объекте при более низких затратах на изыскательские работы;
- получить данные о составе и состоянии подземных грунтов на глубину 40 метров в виде непрерывного разреза длиной 350 метров за сравнительно небольшое время (от 30 до 50 минут);
- повысить информативность исследования, в т.ч. определить участки со слабыми грунтами;
- сократить до минимума (разрешенного в СНиП) количество скважин в разведочной линии;

- исследовать территорию под строительство мостовых переходов;
- оконтуривать талые и вечномёрзлые грунты, определять их мощность.

#### Сайт – Виртуальная лаборатория геофизических исследований «Полярная геофизика Ямала».

**Цель создания сайта:** формирование единой информационной базы по накоплению и представлению геофизических данных ЯНАО (рис.6).

Назначение сайта: представление научных данных, получаемых непосредственно с места установки геофизического оборудования на Ямале в режиме реального времени и/или транслируемые со сторонних интернет-ресурсов.

Сайт должен содержать не только научные данные, понятные ученым, а также публикации, которые представляют интерес для широкой аудитории.

**Разделы сайта** «Полярная геофизика Ямала»: новости, атмосфера (прогноз погоды, данные по озону, и пр.), геофизика твердой земли, геомагнитные данные, ямал из космоса, геофизика на Ямале, полярные сияния, публикации, народные приметы, партнеры, обратная связь, контакты.

**Ключевые моменты** по созданию сайта:

- поиск организаций и заключение договоров на создание базы данных для виртуальной лаборатории геофизических исследований;
- заключение соглашений о сотрудничестве с ИКИ РАН, ИЗМИРАН, ААНИИ, ООО Научно-производственной компанией «Индустриальные геодезические системы», ГКУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»; и в перспективе с ИКЗ СО РАН, ИНГТ СО РАН, ТюмГНГУ и другими научными, образовательными и производственными организациями, ведущими и планирующими исследования в ЯНАО;
- предоставление материалов (ссылок) для наполнения научно-популярного раздела сайта.

**Значение сайт** «Полярная геофизика Ямала» для взаимодействия с научными, образовательными и производственными организациями, ведущими и планирующими исследования в ЯНАО:

- разработка и реализация совместных научных и технических проектов по геофизике Ямала;
- содействие в доступе к установкам, полевым станциям и другим средствам проведения исследований, имеющимся у Сторон;
- обмен опытом между учеными и специалистами и участие в конференциях и других научных мероприятиях, проводимых сторонами;
- обмен научной и технической информацией.

Рис. 6. Главная страница сайта «Полярная геофизика Ямала»





## Социокультурные и психоиммунные аспекты адаптационной мобильности у детей лесных ненцев

Р.Ю.Федоров

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

Г.А.Фишер, С.А.Петров

*Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень*

### Реферат

Доклад посвящен изучению адаптационных возможностей детей коренных малочисленных народов Севера при смене традиционной среды жизнедеятельности в тундре на урбанизированные условия проживания. Эмпирической основой работы послужили материалы экспедиций, проведенных на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа, на основе которых были осуществлены исследования, рассматривающие в комплексной взаимосвязи социокультурные и психоиммунные аспекты адаптации детей лесных ненцев к условиям обучения в школе-интернате. В работе рассмотрена гипотеза о том, что социальные, психологические и физиологические адаптационные механизмы системы жизнеобеспечения индивида являются единым механизмом реагирования на изменения как эндо-, так и экзофакторов.

**Ключевые слова:** коренные малочисленные народы Севера, лесные ненцы, социокультурная адаптация, психоиммунные процессы, адаптационная мобильность.

## Sociocultural and Psychoimmune Aspects of Adaptation Mobility of Forest Nenets Children

R.Yu.Fedorov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

T.A.Fisher, S.A.Petrov

*Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS, Tyumen, Russia*

### Abstract

The report is devoted to studying of adaptation opportunities of children of indigenous ethnic groups of the North at change of the traditional environment of activity in the tundra on the urbanized accommodation conditions. Materials of the expeditions which are carried out in the territory of the Purovsky Area of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the basis of which the researches considering in complex interrelation sociocultural and psycho immune aspects of adaptation of children of forest Nenets to training conditions at boarding school were carried out formed an empirical basis of work. In work the hypothesis that social, psychological and physiological adaptable mechanisms of a life support system of the individual are the uniform mechanism of response to changes as endo-, and ekzofaktor is considered.

**Key Words:** Indigenous people of the North, forest Nenets, sociocultural adaptation, psycho immune processes, adaptation mobility.

Изучение механизмов адаптации коренных малочисленных народов Севера к урбанизированным условиям продолжает оставаться актуальной проблемой для современных гуманитарных исследований. Несмотря на то, что данная тема неоднократно становилась объектом научных исследований, поиск новых методологических подходов для ее изучения не теряет своего значения. В первую очередь это связано с тем, что данная проблематика невольно требует междисциплинарной интеграции целого ряда наук о человеке, включая этнологию, социологию, экологию, психологию, физиологию, иммунологию и целый ряд других направлений медицинских наук. Интегрирующую роль с подобной конвергенции научных дисциплин играют комплексные антропологические исследования, рассматривающие в неразрывной связи социокультурные, этноэкологические и

психофизиологические аспекты жизни представителей коренных народов Севера.

Современные исследования свидетельствуют о серьезных трансформациях психофизиологических особенностей детей коренных народов Севера. Подобный дисбаланс в системе жизнеобеспечения у детей коренных малочисленных народов Севера связан с тем, что до школьного возраста они находятся в семьях со своими родителями, которые занимаются традиционным хозяйством (оленоводством, рыболовством) в тундре, вдали от цивилизационных благ. Ребенку, попадающему в малоизвестную для него среду школы-интерната необходимо адаптироваться к новым условиям. В свою очередь, детский организм находится в особо неустойчивом состоянии, когда разлучаясь с родителями, приходится изменять привычный уклад жизни, питаться другой пищей, есть из другой посуды, спать в другой кровати, общаться с другими людьми и



т.д. А любое внутреннее неблагополучие или внешний неблагоприятный фактор может с большей вероятностью, привести к срыву (дезадаптации), т.е. развитию болезни. Таким образом, к началу школьного обучения ребенок практически закрепляет основные правила жизни, как в отношении экстремальных условий существования, так и к этнокультурным традициям рода. Поэтому, подобный переход из одной культурной среды в другую можно оценивать как критический период жизни.

Экспедиционные исследования, ставшие эмпирической основой для подготовки данного доклада, были проведены в течение 2014 г. на базе Муниципального казенного общеобразовательного учреждения «Школа-интернат основного общего образования» деревни Харампур Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа. В ходе них было обследовано 75 детей лесных ненцев. Группы распределились следующим образом [Практическая психология образования, 2004]: В первую группу «Дети младшего школьного возраста» вошли ученики начальных классов в возрасте от 7 до 10 лет (всего 31 ребенок). Вторую группу «Дети младшего подросткового возраста» составили 25 детей от 11 до 13 лет. В третью группу «Дети старшего подросткового возраста» входило 19 подростков в возрасте от 14-16 лет.

Обобщение собранных в ходе исследования этнографических материалов дает возможность получить общее представление о проблемах адаптации лесных ненцев к урбанизированным условиям. Дети, обучающиеся в школе-интернате, родились в семьях ведущих кочевой, полуоседлый и оседлый образ жизни в тундре, связанный с оленеводством или рыболовством. Поэтому, в большинстве случаев, в образе жизни и мировоззрении детей к моменту поступления в интернат оказываются уже сложившимися многие этнокультурные особенности, характерны для традиционной культуры их народа. Для начала попробуем обозначить их некоторые ключевые компоненты.

Большинство опрошенных нами учащихся считает своим родным языком ненецкий и отмечает, что в раннем детстве во время жизни в тундре он наиболее часто использовался в их семьях. Однако в условиях интерната основным языком для общения и обучения становится русский. Во многом это связано с тем, что уровень владения ненецким языком у детей из разных семей варьируется (в поселках он ниже, чем в тундре), а также тем, что в интернате наряду с ненцами обучаются дети других национальностей, не знающие ненецкого языка.

Большой интерес представляют ответы учащихся интерната на вопросы, характеризующие корреляцию их этнокультурной идентичности и пространственной мобильности. Так, на вопрос: «Чем для вас является природа», 86% респондентов ответили – «домом» и только 6% – «чуждой средой, таящей опасности». При этом, на вопрос: «Чем для вас является город», 66% ответили – «домом», а 26% – «чуждой средой, таящей опасности». Данные ответы продемонстрировали тенденцию к амбивалентности предпочтений детей ненцев к жизни в природной и урбанизированной среде,

при этом процент предпочтений традиционному жизненному укладу в тундре остается более высоким. Ответы на следующие вопросы отразили серьезные противоречия в идеальных и реальных предпочтениях учащихся интерната, связанных с выбором условий проживания. Так, на вопрос: «В каком месте вы бы мечтали жить?» 50% опрошенных, указали национальные поселки и малые города, расположенные на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, 28% назвали большие города (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Тюмень и др.), и лишь 6% указали кочевой образ жизни в тундре. На вопрос «Где ваша родина?» 40% указали национальные поселки и районный центр Тарко-Сале, 20% решающее значение предали региональной идентичности (Ямал, Ямало-Ненецкий автономный округ, Пуровский район), и лишь 10% опрошенных отметили, что их родиной является тундра. При уточнении этих данных был задан вопрос: «Хочется ли вам вернуться после учебы жить в родные места (тундру)?». Учащиеся начальных классов ответили на него положительно – 83,4% (мальчики), 93,75% (девочки). В среднем звене (младший подростковый возраст) ответ «да» прозвучал у 57,15% мальчиков и 57,14% девочек. А вот в старшем подростковом возрасте мнение разделилось: 83,4% мальчиков собираются вернуться в тундру, тогда как только 20% девочек выразили это желание. Таким образом, ответы учащихся, полученные в ходе проведения формального анкетирования, а также структурированных интервью, указывают на выраженные гендерные различия в ценностных ориентациях подростков-ненцев, которые связаны с их представлениями об ожидаемых социальных ролях во взрослой жизни. Большинство опрошенных мальчиков отмечают, что после окончания учебы они хотели бы вернуться в тундру и продолжить те виды традиционного хозяйствования (оленеводство, рыболовство, охота), которыми занимаются их родители. Среди девочек к старшим классам начинает преобладать установка на получение высшего образования и последующей жизни в условиях города или поселка. При этом они отмечают заинтересованность в возможности брака с русскими или представителями других национальностей, связывая это с их большей социальной мобильностью в урбанизированных условиях.

В ходе экспедиции нами были исследованы отдельные вопросы, связанные с культурой питания лесных ненцев. Ее характерной особенностью является преобладание белково-липидного типа диеты, в котором значительную роль играет сыроедение. В частности, многие кочевые ненцы до сих пор употребляют в пищу сырую рыбу (строганину), сырое мясо и свежую кровь оленя. Подобный рацион питания на протяжении многих столетий являлся важной составной частью механизмов адаптации ненцев к природно-климатическим условиям тундры, позволяя им компенсировать нехватку жизненно-важных витаминов и питательных веществ. В ходе анкетирования, на вопрос: «Едите ли вы сырое мясо» были получены следующие ответы. В первой возрастной группе на этот вопрос утвердительно ответило 83,4% мальчиков и только 25,0% девочек. Во второй группе:

мальчики – 80,0%, девочки – 57,1%. В третьей группе: мальчики – 66,7%, девочки – 70,0%. На вопрос: «Едите ли вы сырую рыбу» положительные ответы распределились следующим образом. В первой возрастной группе: мальчики – 75,0%, девочки – 87,5%. во второй группе: мальчики – 66,7%, девочки – 57,1%. В третьей группе: мальчики – 50%, девочки – 70%. Данные ответы свидетельствуют о том, что национальные традиции питания играют большую роль в жизни детей лесных ненцев. Однако в условиях школы-интерната, введение в рацион питания сырого мяса и рыбы становится невозможным из-за существующих санитарно-эпидемиологических требований.

Для определения гастрономических предпочтений учащимся школы-интерната в возрасте от 9 до 16 лет, был задан вопрос: «Какая еда вам больше нравится: приготовленная дома или в интернате?». На него 84% респондентов ответили, что им больше нравится домашняя пища и лишь 10% опрошенных отметило, что предпочитают пищу, приготовленную в столовой интерната. Однако, в ответ на следующий вопрос: «Ваше любимое блюдо?» почти все учащиеся назвали такие, включенные в рацион их школьного питания блюда, как борщ, плов, каши, пельмени, мясные котлеты с картофельным пюре и т.д. Данная тенденция с одной стороны свидетельствует о приспособлении к новому рациону пищи на уровне предпочтений. С другой стороны, происходит «расшатывание» традиционной культуры питания, с которой закладываются другие установочные нормы в системе жизнеобеспечения, что в свою очередь, может отражаться на состоянии здоровья детей. Чтобы подтвердить это предположение в ходе экспедиций была исследована динамика частоты заболеваемости учащихся школы-интерната. Результаты исследования указывают на то, что в младшем школьном возрасте (от 7 до 10 лет) процент встречаемости острых респираторных вирусных инфекций (ОРВИ) составил  $75,0 \pm 1,56$ , в младшем подростковом возрасте (от 11 до 13 лет) –  $67,63 \pm 2,37$  и в старшем подростковом возрасте (от 14 до 16 лет) –  $37,5 \pm 1,9$ . Уровень герпетической инфекции у детей от 7 до 10 лет составил  $35,7 \pm 1,3\%$ , от 11 до 13 лет –  $27,26 \pm 1,5\%$  и от 14 до 16 лет –  $12,5 \pm 1,0\%$ .

Таким образом, у детей младшего школьного возраста наблюдается снижение защитных сил организма, которое вероятней всего сопряжено с ослаблением клеточного звена иммунитета на фоне стресса, связанного с резким изменением образа жизни. У детей младшего подросткового возраста, успевших привыкнуть к условиям проживания в школе-интернате, наблюдается снижение простудных заболеваний и герпетической инфекции, но при этом увеличиваются их затяжное течение. Можно предположить, что дети этой группы частично адаптировались к новым условиям, а изменение адаптационных процессов у них направлены на отношение равновесия организма (функциональных систем) с окружающей средой. Дети старшего подросткового возраста практически полностью адаптируются к условиям пребывания в школе-интернате. У них существенно снижается частота инфекционных и простудных заболеваний, что

свидетельствует о качественных изменениях в состоянии иммунной системы.

Использование теста «Рисунок человека», в котором отражаются не сознательные установки, но и бессознательные импульсы и переживания, позволило глубже понять психологические особенности учащихся интерната. Так при изучении эмоциональной сферы, уровень тревоги в первой группе (как у мальчиков, так и у девочек) составил  $3,76 \pm 0,28$ , во второй группе  $3,87 \pm 0,3$ , а третьей группе  $5,16 \pm 0,2$ . Уровень агрессии отмечался только у мальчиков с нарастающей тенденцией к старшему подростковому возрасту ( $0,25 \pm 0,17$ ;  $1,4 \pm 0,33$ ;  $2,16 \pm 0,65$ ).

Наиболее вероятно, что признаки нарастающего уровня тревоги и агрессии (у мальчиков) можно рассматривать в качестве атрибутов адаптационной перестройки организма при резком изменении образа жизни. В младшем школьном возрасте признаки интровертности превышает над экстравертностью в 2,2 раза, а в младшем подростковом возрасте уже в 5,6 раза, что обращает на себя внимание, несмотря на общее соответствие особенностям психики подростков. К старшему подростковому возрасту интровертность снижается до 1,3 раза. Наиболее вероятно, что все эти качества обеспечивают механизм поддержания бытования ряда системообразующих национальных традиций в их неясном для внешнего наблюдателя, имплицитном состоянии. Поэтому данную этнопсихологическую особенность ненцев, связанную с «внешними» и «скрытыми» компонентами их традиционной культуры важно учитывать в ходе разработки подходов к их социокультурной адаптации к урбанизированным условиям.

Результаты исследования указывают на то, что в настоящее время в культуре лесных ненцев национальные архаические и современные урбанизационные компоненты тесно переплетены между собой. В процессе инкультурации в дошкольном возрасте дети коренных малочисленных народов Севера перенимают от предков опыт традиционного образа жизни в тундре, а во время обучения в школе-интернате проходят социализацию, соответствующую стандартам жизни в урбанизированных условиях. Это ставит их в непростую ситуацию «раздвоенности» мировоззрения. Известно, что социокультурная ситуация современности создает многообразие форм проявления индивидуальности, а также эмоциональных и поведенческих реакций у детей. Этому способствуют различные факторы, например, появление новых коммуникативных технологий, трансформации трудовых ролей и норм поведения в семье и обществе и т.д. В случае лесных ненцев, проживающих на территории Пуровского района Ямало-Ненецкого автономного округа, можно проследить достаточно выраженную социокультурную дифференциацию между их отдельными представителями, ведущими традиционный кочевой и оседлый образ жизни. Помимо этих двух типов нередко можно встретить и смешанный образ жизни, когда члены одной семьи проводят часть времени на

стойбище в тундре, а часть в поселке. Для ненцев типична ситуация, когда молодые люди после учебы в интернате отправляются в город для получения образования и последующего поиска работы, но до конца не могут адаптироваться к урбанизированным условиям и возвращаются к кочевой жизни в тундре. При этом в рассказах информаторов разных возрастов можно часто встретить упоминания об их периодических «метаниях» между традиционным и урбанизационным жизненным укладом, «раздвоенности» мироощущения, нередко приводящего к серьезным внутренним конфликтам и противоречиям.

Переход от жизни в тундре к проживанию в школе-интернате ведет к изменению адаптационно-защитных механизмов, предназначенных для поддержания гомеостатического баланса в организме. Благодаря способу комплексной оценки социокультурных и психоиммунных аспектов, в ходе исследования были получены результаты адаптационных изменений у детей и подростков коренных малочисленных народов Севера на примере лесных ненцев. Установлено, что особенности их психического состояния обусловлены, с одной стороны закономерностями возрастной нормы, с другой – резкой сменой социальных условий. Таким образом, дети лесных ненцев принимают свою этническую принадлежность и традиционную культуру, но, в то же время, их значительная часть не связывает свое будущее с традиционным образом жизни в тундре (в большей степени – девочки). Можно предположить, что частые простудные заболевания (особенно на протяжении первых четырех лет обучения в школе-интернате), являются признаком дезадаптации иммунной системы, а изменения в эмоциональной сфере (агрессивность, тревожность) являются ответом на изменение социальных норм поведения. Следовательно, с одной стороны, такие механизмы адаптации помогают детям приспосабливаться к переходу с одного образа жизни на другой в течение нескольких лет. С другой стороны, когда дети коренных малочисленных народов Севера привыкают к новым, урбанизированным условиям жизнедеятельности, традиционный образ жизни нередко утрачивает для них привлекательность. В свете этих проблем свою актуальность не теряет поиск новых путей

оптимизации деятельности школ-интернатов, которые были бы направлены на адаптацию воспитательного и образовательного процесса к этнокультурным особенностям обучающихся в них детей.

Если учитывать, что социальные, психологические и физиологические (в частности, иммунные) адаптационные механизмы системы жизнеобеспечения являются единым механизмом реагирования на изменения как эндо-, так и экзофакторов [Dotsenko et al. 2013; Suhovey et al. 2014], то наиболее вероятно, что, неосознаваемые ресурсы психики изменяют работу и иммунной системы по тем же сценариям, которые мы наблюдаем в психике. Исходя из этого, нам представляется наиболее перспективной и адекватной разработка междисциплинарных исследовательских подходов, в комплексном виде учитывающих связи социокультурных и психоиммунных аспектов в процессе адаптации представителей коренных малочисленных народов Севера к урбанизированным условиям жизнедеятельности. Их практическое применение в первую очередь может быть направлено на обеспечение адаптационной мобильности, подразумевающей поиск наиболее безболезненных путей конверсии от одной формы жизненного уклада к другой, реализуемых в форме динамического баланса. При этом для представителей коренных народов Севера, важно обеспечить свободу и доступность самостоятельного выбора между разными культурно-хозяйственными моделями жизнедеятельности.

## Литература

- Практическая психология образования. // Под ред. И.В. Дубровиной. – СПб.: Питер, 2004. 592 с.
- Dotsenko E, Bogdanova M, Fisher T, Petrov S, Suhovey Y. Synchronization of immune and psychic systems associated with social stress. // CBU international conference on integration and innovation in science and education. – Prague, 7-14 April, 2013. p. 324-328
- Suhovey Yu.G., Koptuyug A.V., Petrov S.A., Dotsenko E.L., Fisher T.A. Psycho-immune Partnership in the Dynamic Responses of Living Systems. // International Journal of Life Science and Medical Research, 2014, №4. p. 57-70.



## Вариативность в системе жизнеобеспечения коренного населения Арктики

Т.А.Фишер, С.А.Петров

Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень

О.Н.Пяк

Тюменский государственный университет ТюмГНГУ, Тюмень

### Реферат

В настоящей работе представлена малочисленная этническая группа лесных ненцев, проживающая в экстремальных климатических условиях Крайнего Севера. При изучении данной группы особое значение в поиске адаптивных программ для поддержания гомеостатического равновесия придавалось сопряженному функционированию стресс-реализующих систем (психической, иммунной и эндокринной). Установлено, что эти системы выступают как единый функциональный механизм реагирования при адаптации к суровым условиям проживания

**Ключевые слова:** лесные ненцы, малочисленные народы Крайнего Севера, психика, иммунная система, эндокринная система

### Variability in the Life Support System of the Indigenous Population in Arctic

T.A.Fisher, S.A.Petrov

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS, Tyumen, Russia

O.N.Pyak

Tyumen State University, Tyumen, Russia

The report is devoted to studying of the features of mentality and immune system of indigenous people of the far North on example of forest Nenets. Their adaptive programs for maintenance of homeostatic balance have been considered in context of joint functioning of mental, immune and endocrine systems. Results of research testify that these systems act as the uniform functional mechanism of reaction at adaptation to severe conditions of accommodation.

**Key Words:** forest Nenets, indigenous people of the far North, mentality, immune system, endocrine system.

### Введение

В период интенсивного освоения северных территорий изучение малых этнических групп является своевременной необходимостью [Губина и др. 2005], даже несмотря на то, что уже имеются многочисленные работы в этом направлении. Получение современной информации о работе интегрирующих систем у них раскрывает общее представление о функционировании системы жизнеобеспечения коренного населения и приближает к пониманию возможного компромисса между человеком и природой в современных условиях. Известно, что психика и иммунная система тесно взаимосвязаны и осуществляют свою активность через многочисленные физиологические механизмы, а их функциональный изоморфизм поддерживает динамический гомеостаз по принципу взаимной регуляции [Dotsenko et al 2013]. При этом, психика и иммунная система эволюционно выработали схожие по механизмам работы регуляторные схемы и поведенческие паттерны, которые не только обеспечивают многоуровневую защиту, но и создают новые стратегии, способные защитить организм от перегрузок и разрушений [Suhovey et al 2014]. Несмотря на то, что эта тема достаточно изучена нами предлагается

комплексный, интегрированный подход при изучении взаимодействия человека с окружающей средой с точки зрения функционального изоморфизма психики и иммунной системы, а также эндокринной системы, которые в свою очередь составляют единую регуляторную метасистему.

Цель исследования – оценить сопряженное функционирование психики, иммунной и эндокринной систем при длительном воздействии экстремальных климатических условий на примере этнической группы «лесные ненцы».

### Материалы и методы исследования.

Исследование проведено в д. Харампур, стойбищах «Чебачье» и «Медвежья гора» Пуровского района ЯНАО. Обследовано 40 человек этнической группы «лесные ненцы», из них 25 человек проживают в тундре, занимаются рыболовством и ведением домашнего хозяйства (естественное существование), 15 человек проживают и работают в посёлке (близкий к тундре). Возраст этой группы составил  $33,48 \pm 1,85$  лет (группа 1). Несмотря на небольшие размеры выборки (сказывается низкая плотность населения), она репрезентативна в отношении всей популяции и адекватно отражает психо-

иммуно-эндокринологический профиль этой этнической группы.

Группой сравнения выступают жители г. Тюмени в количестве 60 человек, средний возраст которых составил  $23,5 \pm 0,71$  лет, а профессиональная деятельность связана с работой на «открытом воздухе» (группа 2).

Для изучения психологических особенностей использовались: 8-цветовой тест М. Люшера, ситуативная и личностная тревожность Ч. Спилберга, диагностика состояния депрессии (опросник Бека).

Цветовым методом Люшера определялись следующие показатели: вегетативный коэффициент (характеризует энергетический баланс организма, установку на деятельность); суммарное отклонение (устойчивость эмоционального фона); уровень тревоги (интенсивность существующих психологических или физиологических дефицитов, вызывающих тревогу); амбивалентность (одновременное выражение позитивного и негативного чувства, проявление устойчивости эмоциональной сферы).

Методом «Исследование тревожности» по Ч.Д. Спилбергу изучали самооценку уровня тревожности в данный момент (реактивная тревожность, как состояние) и личностную тревожность (как устойчивая характеристика человека). Интерпретации: до 30 баллов – низкая, 31-44 – умеренная; 45 и более – высокая.

В опроснике А.Т. Бека выделены две субшкалы проявлений депрессии: когнитивно-аффективная и соматическая. Интерпретации: 0-9 – отсутствие депрессивных симптомов; 10-15 – легкая; 16-19 – умеренная; 20-29 – выраженная; 30-63 – тяжёлая депрессия.

Для изучения иммуноэндокринного статуса определяли следующие показатели в сыворотке крови: кортизол, серотонин, ИЛ-4 и ИНФ- $\gamma$ . Для этого использовался метод иммуноферментного анализа (ИФА). Известно, что серотонин является одним из основных нейромедиаторов, а кортизол – биологически активным глюкокортикоидным гормоном стероидной природы. При этом функциональная активность специфического иммунитета оценивалось по уровню в сыворотке крови репертуарных цитокинов – ИЛ-4 (маркёра гуморального иммунитета) и ИНФ- $\gamma$  (маркёра клеточного иммунитета).

Статистическая обработка материала проведена на ПЭВМ IBM/PC при помощи стандартных статистических пакетов «SPSS 11,5 for Windows»

## Результаты исследования

В таблице 1 отражены результаты теста Люшера. Установлено, что в группах «лесные ненцы» и «жители г. Тюмени» вегетативный коэффициент отражает оптимальную мобилизацию физических и психических ресурсов с установкой на активные действия. Уровень суммарного отклонения у лесных ненцев соответствует среднему уровню непродуктивной нервно-психической напряженности, т.е. свои обязанности они выполняют в пределах сложившихся требований, а усталость преодолевают волевым усилием. Однако после этого

просматривается длинный «шлейф» сниженной работоспособности. Это достоверно отличает их от жителей г. Тюмени, у которых уровень непродуктивной нервно-психической напряженности с преобладанием установки на активную деятельность незначительный. А значит энергоресурсов достаточно для регулярных всплесков сверхактивности. При анализе уровня тревоги и амбивалентности в исследуемых группах достоверных различий установлено не было. При этом у жителей тундры (1 группа) уровень тревоги повышен и характеризуется как средний, а более высокие показатели амбивалентности отражают неустойчивость эмоциональной сферы.

Что касается ситуационной и личностной тревожности, то у лесных ненцев она соответствует умеренному уровню, однако была выше, чем у жителей г. Тюмень. При этом процент лиц с высокой ситуационной тревогой в группе «лесные ненцы» составил 50%, с умеренной – 32,5% с низкой – 17,5%, а процент лиц с высокой личностной тревогой составил 47,5%, с умеренной – 37,5%, с низкой – 15%. У жителей же г. Тюмени наблюдается иная структура распределения уровня тревожности. В данной группе отмечается низкий уровень тревожности как ситуационной, так и личностной. При этом высокий уровень ситуационной тревожности отмечался всего лишь у 3,63% лиц, умеренный – у 54,0%, низкий – у 42,37%. Умеренный уровень личностной тревожности составил 63,0%, а низкий у 36,85% лиц. Если учитывать, что определенный уровень тревожности – это естественная обязательная особенность активной деятельности и у каждого человека существует свой оптимальный уровень тревожности (полезная тревожность), то можно предположить, что у лесных ненцев повышенный уровень тревожности, есть индивидуальная особенность, которая во многом обуславливает их поведение. Об этом свидетельствуют отсутствие выраженных депрессивных состояний по тесту А.Т. Бека в обеих группах обследуемых лиц.

При определении эндокринных показателей (таблица 2) в сыворотке крови у лесных ненцев установлено увеличение уровня серотонина по отношению к жителям города Тюмени ( $p < 0,001$ ) и общепринятой норме. Выявлено, что содержание уровня серотонина тесно связано с психическими процессами, что подтверждается установленными корреляционными связями. В группе лесных ненцев повышение уровня серотонина сопровождается увеличением уровня тревоги ( $r = 0,303$  при  $p < 0,05$ ) (тест Люшера), снижением показателя «личностная тревожность» ( $r = -0,403$  при  $p < 0,05$ ) (тест Спилберга). В группе жителей г. Тюмени обращает на себя внимание то, что уровень серотонина не выходит за пределы нормы и связан с показателями «вегетативный коэффициент» ( $r = -0,571$  при  $p < 0,05$ ) и «амбивалентность» ( $r = 0,612$  при  $p < 0,05$ ) (тест Люшера).

Уровень кортизола в 1 группе находится в пределах нормы, что свидетельствует о комфортном (адаптированном) существовании их в суровых климатических условиях.

Таблица 1. Сравнительная характеристика параметров психологического статуса

Название столбца	Показатели	1 группа «лесные ненцы» n=40	2 группа «жители г. Тюмени» n=60
Тест М. Люшера	Вегетативный коэффициент	1,20±0,06	1,29±0,07
	Суммарное отклонение	19,56±0,44	10,24±0,85**
	Уровень тревоги	4,31±0,23	3,03±0,21
	Амбивалентность	4,05±0,35	3,21±0,24
Тест Ч. Спилберга	Ситуационная тревожность	39,82±1,39	30,06±0,65**
	Личностная тревожность	40,85±1,52	29,25±0,91**
Тест А.Т. Бека	Когнитивно-аффективные проявления депрессии	1,16±0,48	1,0±0,09
	Соматические проявления депрессии	0,66±0,03	0,59±0,03

Примечание: \* - достоверность различий группой 1 (\* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ).

Таблица 2. Сравнительная характеристика иммуно-эндокринных параметров

Показатели	1 группа «лесные ненцы» n=21	2 группа «жители г. Тюмени» n=20	Общепринятые нормы
Серотонин (нг/мл)	547,14±81,02	133,34±16,39 **	40-400
Кортизол (нмоль/л)	376,66±42,78	704,6±63,89**	150-660
ИЛ-4 (пг/мл)	4,39±0,97	1,03±0,1**	0-4
ИНФ- $\gamma$ (пг/мл)	15,57±2,32	1,18±0,1**	0-15
ИНФ- $\gamma$ /ИЛ-4	3,55	1,15	

Примечание: \* - достоверность различий с группой 1 (\* -  $p < 0,05$ ; \*\* -  $p < 0,01$ ).

Во 2 группе наблюдается достоверное повышение уровня кортизола ( $p < 0,001$ ) по сравнению с группой «лесные ненцы» и общепринятой нормы. Возможно, это свидетельствует о психоэмоциональном напряжении организма, что ассоциируется с изменением ряда психологических показателей. Установлены корреляционные связи с показателями в тесте Спилберга: снижение «ситуационной тревожности» ( $r = -0,367$  при  $p < 0,05$ ) и повышением «личностной тревожности» ( $r = 0,308$  при  $p < 0,05$ ). Следовательно, представленные выше данные показывают индивидуальные особенности эндокринного статуса в каждой группе и подтверждают наличие тесного взаимодействия между психикой и эндокринной системой.

При определении репертуарных маркеров клеточного (ИНФ- $\gamma$ ) и гуморального (ИЛ-4) звеньев иммунной системы было обнаружено, что эти показатели в обследованных группах не выходят за пределы нормы. Однако у представителей этнической группы значимо увеличивается активность иммунной системы в сравнении с городскими жителями. Об этом свидетельствует значительное повышение уровня содержания в сыворотке крови ИНФ- $\gamma$  ( $p < 0,001$ ) и ИЛ-4 ( $p < 0,001$ ) по сравнению с жителями г. Тюмени. При этом анализ соотношения репертуарных маркеров гуморального и клеточного звеньев иммунной системы показывает, что коэффициент их соотношения у лесных ненцев был в пределах 3,5 за счет увеличения в большей степени активности клеточного иммунитета. Тогда как у жителей г. Тюмени этот коэффициент составил 1,1.

Очевидно, что такое распределение баланса биологических активных веществ, свидетельствует о сбалансированной работе между различными звеньями иммунной системы.

При установлении корреляционных взаимосвязей между психической и иммунной системой установлено, что в группе «лесные ненцы» уровень ИНФ- $\gamma$  (маркер клеточного звена иммунной системы) связан с показателями «суммарное отклонение» ( $r = 0,362$  при  $p < 0,05$ ) и «амбивалентность» ( $r = -0,624$  при  $p < 0,05$ ) (тест Люшера), а также со снижением показателей «ситуационная тревожность» ( $r = -0,492$  при  $p < 0,05$ ) и «личностная тревожность» ( $r = -0,563$  при  $p < 0,05$ ) (тест Спилберга). В группе «жители г. Тюмени» уровень ИНФ- $\gamma$  коррелирует со снижением показателя «ситуационная тревожность» ( $r = -0,465$  при  $p < 0,05$ ) (тест Спилберга), а уровень ИЛ-4 связан с суммарным отклонением ( $r = 0,507$  при  $p < 0,05$ ) (тест Люшера). То есть, при анализе полученных данных, можно предположить, что клеточное звено иммунной системы больше всего связано с психической деятельностью, тем самым отражает даже самые незначительные изменения со стороны психики.

## Выводы

Таким образом, в исследовании была рассмотрена малочисленная этническая группа лесных ненцев, проживающих в специфических природных условиях Арктической зоны Российской Федерации, которые

сохраняют традиции и культурное наследие своего народа.

Нами показано, что этническая группа «лесные ненцы» имеет свои отличительные особенности как со стороны психической, так и иммуноэндокриной систем. В результате этого можно высказать гипотезу, что социальные (условия существования), психологические и физиологические (в частности, иммунные и эндокринные) адаптационные механизмы системы жизнеобеспечения выступают как единый функциональный механизм реагирования. То есть, когда взаимодействие человека с окружающей средой опосредованы их внешней и внутренней активностью и регулируются на разных уровнях жизнеобеспечения, что позволяет осуществлять наиболее адекватный информационный обмен и приспособиться к естественным условиям существования. При этом состояние одной системы модулируется состоянием другой и в результате происходит увеличение функциональной мощности и потенциальных возможностей необходимой для жизнеобеспечения организма. А такое взаимодействие возможно лишь при наличии общих функциональных свойств, соответствующих регуляторных факторов и рецепторов.

## Литература

- Губина М.А., Осипова Л.П., Виллемс Р. Анализ материнского генофонда по полиморфизму митохондриальной ДНК в популяциях хантов и коми Шурышкарского района ЯНАО. // Коренное население Шушкарского района Ямало-Ненецкого автономного округа: демографические, генетические и медицинские аспекты. / Отв. ред. Л.П. Осипова. – Новосибирск: ИПП «ART-AVENUE», 2005. С. 105-117.
- Dotsenko E.L., Bogdanova M.V., Fisher T.A., Petrov S.A., Suhovey Y.G. Synchronization of immune and psychic systems associated with social stress. Cbu international conference on integration and innovation in science and education april 7-14, 2013, P.324-328 Prague, Czech Republic [www.cbuni.cz](http://www.cbuni.cz), [ojs.journals.cz](http://ojs.journals.cz)
- Suhovey Y., Koptug A.V., Petrov S.A., Dotsenko E.L., Fisher T.A. Psycho-immune Partnership in the Dynamic Responses of Living System. International Journal of Life Science and Medical Research, 2014, 4, 57-70.





## Инновационный проект по озеленению и благоустройству населённых пунктов ЯНАО

М.С.Фуфаева, В.С.Овсянникова  
Институт химии нефти СО РАН (ИХН СО РАН), Томск  
А.А.Гидеон  
АУ ЯНАО «Окружной технологический парк "Ямал"», Салехард

### Реферат

Инновационный проект по озеленению и благоустройству населённых пунктов ЯНАО ориентирован на широкое использование т.н. криогелей, внесение которых в почву позволяет не только улучшить условия произрастания местной флоры, но и достаточно надёжно укоренить азональные для территории многолетние травянистые, кустарниковые и древесные породы растений. Криогель удерживает влагу, ускоряет процесс роста и развития растений, повышает их выживаемость, оказывает положительное влияние на аборигенную микрофлору, на катионный и анионный состав почв. Вещество экологически безопасно. Обработка производится в 2 слоя криогелеобразующим раствором. Первый слой обеспечивает стабилизацию грунта и защиту от влаги. Второй слой, смешанный с торфом, стимулирует развитие необходимой для растений микрофлоры.

**Ключевые слова:** озеленение и благоустройство, криогель, роста и развития растений, зональная и азональная растительность

## Innovative project for the greening and beautification of the settlements in Yamalo-Nenets Autonomous District

M.S.Fufaeva, V.S.Ovsyannikova  
Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch RAS, Tomsk, Russia  
A.A.Guideon  
Yamal "District technology Park "Yamal", Salekhard, Russia

### Abstract

Innovative project for the greening and beautification of Yamal settlements is focused on the widespread use of so-called cryogel. The introduction of cryogel into the soil improve the growing conditions of the local flora, but also allow azonic herbaceous, shrub and trees to grow here. Cryogel holds moisture, accelerates the process of growth and development of plants, increases their survival rate, has a positive impact on the indigenous microflora, cationic and anionic composition of the soil. The substance is environmentally safe. Processing is done in 2 layers cryo gel-forming solution. The first layer provides soil stabilisation and protection from moisture. The second layer, mixed with peat, stimulates the development of plant microflora.

Keywords: gardening and landscaping, cryogel, growth and development of plants, zonal vegetation and azonic

### Предварительные эксперименты

В 2013 году на территории ямальских городов Новый Уренгой, Ноябрьск и Салехард были заложены экспериментальной площадки, где в криоструктурированную и обычную почву были высажены многолетние травянистые, кустарниковые и древесные породы растений, не свойственные для произрастания в условиях Крайнего Севера.

Экспериментальная площадка заложена в городе Салехард на территории средней школы №2, размером 3\*7 м (S = 21 кв.м.) (рис.1). Были высажены саженцы древесных и кустарниковых культур в почву с криогелем (опыт) и обычную почву (контроль). Посадочный материал предоставил Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова (кедр, пихта, ива изящная, ель, черная смородина, рябина Кене, барбарис Тунберга, курильский

чай). При посадке саженцев кустарниковых и древесных пород криогелеобразующим раствором обрабатывали корневые системы и приствольные круги.

Эксперимент по посадке барбариса Тунберга и ивы изящной в опытную и контрольную почвы в июле 2014 года показал, что у растений в опыте начался активный рост (вегетация), появились зеленые листья и ростовые зоны. В контроле часть растений погибли (замерзли, засохли и т.д.).

Более подробная оценка состояния саженцев произведена в сентябре 2014 года. Из таблицы 1 следует, что применение криогеля для обработки корневых систем и приствольных кругов при посадке в кислую торфяную почву повысило выживаемость саженцев древесных и кустарниковых пород на 15%.

Микробиологические анализы проб почвы, отобранные с опытных и контрольных участков. В опыте численность

естественной микрофлоры в 1,5-2 раза превышала контрольные данные.



Рис.1. Экспериментальная площадка на территории средней школы №2 г. Салехард.

Вторая площадка выделена в г. *Салехард* на территории лесхоза размером 5\*10 м (S = 50 кв.м.) (рис.2). Первые предварительные результаты от 21 июля

2014 года показали, что кедры, посаженные в песчаную почву с внесением криогеля, относительно хорошо перезимовали, и на момент снятия результатов большая их часть сохранила жизнеспособность. Криогель препятствовал процессам выветривания верхнего слоя почвы, это в свою очередь будет препятствовать сносу растений и семян ветром, смыванию атмосферными осадками.

Микробиологический анализ проб грунта, отобранного с контрольного и опытного участков на территории песчаного карьера показал, что в песке численность микрофлоры была крайне низкой – тысячи клеток на 1 грамм грунта, однако в опыте численность была выше, чем в контроле, в 10 раз.

### Выводы

В ходе экспериментальных исследований были сделаны следующие промежуточные выводы:

- Криогель ускоряет процесс роста и развития растений, повышает их выживаемость.
- Корневая система растений в криоструктурированной почве лучше поглощает и усваивает органические элементы.
- Криогель удерживает влагу.
- Криогель оказывает положительное влияние на аборигенную микрофлору, на катионный и анионный состав почв. Криогели безвредны для людей и экологически безопасны для окружающей среды.

Табл.1. Выживаемость растений древесных и кустарниковых пород в криоструктурированной и обычной почве на территории школы №2 в г. Салехарде, сентябрь 2014 г.

Наименование	опыт			контроль		
	Количество идентифицированных саженцев	Количество живых саженцев	Выживаемость, %	Количество идентифицированных саженцев	Количество живых саженцев	Выживаемость, %
Ива	11	8		12	7	
Пихта и ель	7	4		7	4	
Кедр	5	1		1	0	
Кустарники (барбарис, рябина Кене, курильский чай, смородина)	3	3		4	3	
Итого	26	17	65	24	12	50

### Перспективные работы

На основании полученных результатов проведены опытно-производственные работы для выработки оптимальной методики. АУ ЯНАО «Технопарк Ямал» совместно с ИХН СО РАН и МУП «Городское хозяйство» г. Лабитнанги провели опытную обработку в 2 слоя криогелеобразующим раствором откосов в центральной части города (рис.3). Первый слой обеспечивает стабилизацию грунта и защиту от влаги. Второй слой, смешанный с торфом, стимулирует

развитие необходимой для растений микрофлоры. Итоги и результаты от проделанной работы будут подведены летом 2015года.

Первая половина участка площадью около 102 кв. м. была обработана в следующей последовательности: внесены минеральные удобрения (2 кг на участок, расход 19 г/м<sup>2</sup>), известь-пушонка (500 г/м<sup>2</sup>), семена газонной травы из расчета 25 г/м<sup>2</sup>, сверху нанесен слой торфо-песчаной смеси. Затем участок был обработан криогелеобразующим раствором.



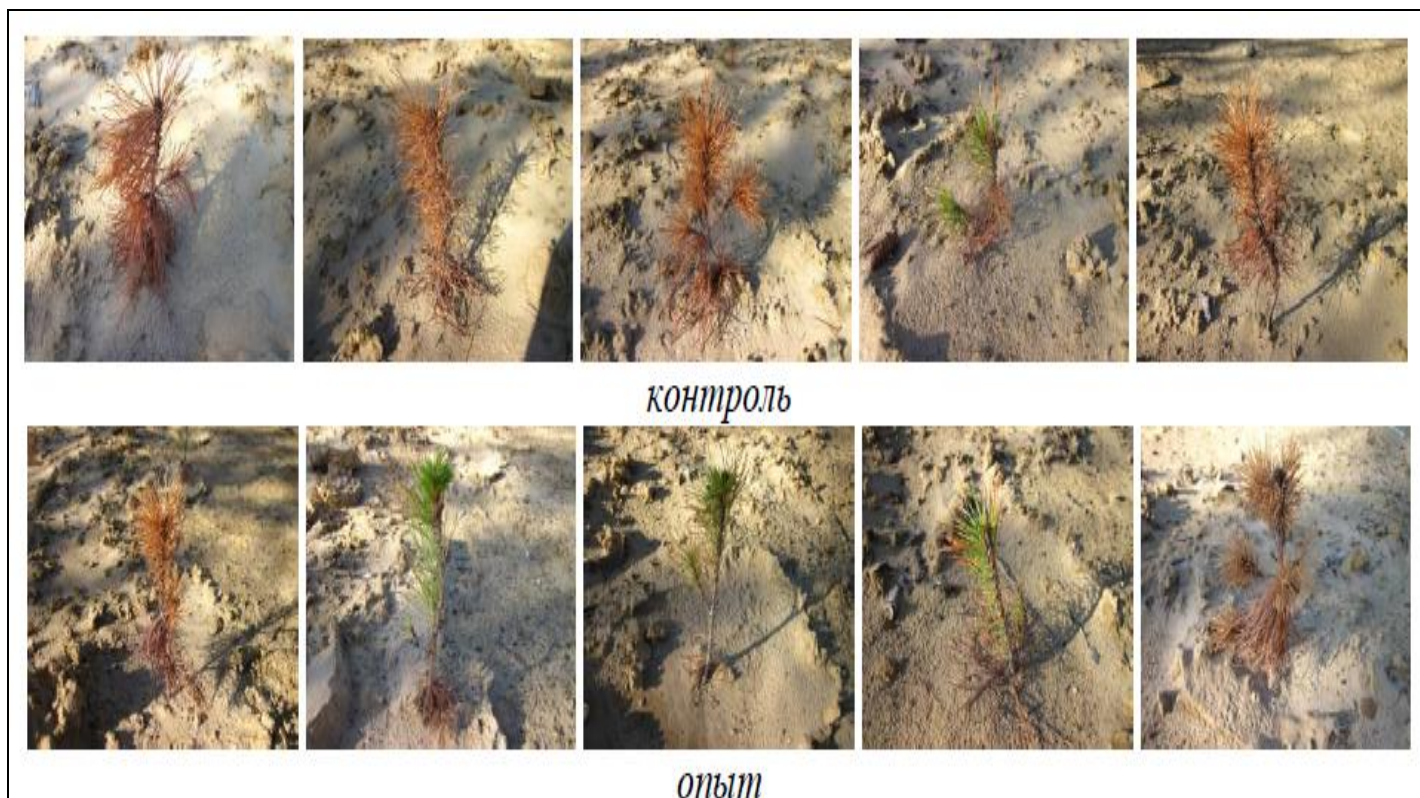


Рис.2. Полевой эксперимент по посадке кедров в криоструктурированный и обычный грунт на территории, г. Салехард, сентябрь 2014года.

Вторая половина участка была обработана криогелеобразующим раствором в два слоя. Первый слой наносили на песчаную отсыпку участка. Во второй слой добавляли минеральные удобрения, известь-пушонку, семена, торфо-песчаную смесь слоем 2-3 см, затем опять слой криогелеобразующего раствора.



Рис.3. Закрепление откосов с помощью криогелеобразующего раствора

Третий участок был расположен на верхней террасе комплекса и непосредственно примыкал к проезжей части. Участок имеет длину 18-19 м, ширину 4.5 м (площадь около 85.5 кв. м). Уклон 20-30°, юго-западной экспозиции. Способ обработки – 2 слоя криогелеобразующего раствора. Первый слой наносили на песчаную отсыпку участка. Во второй слой добавляли минеральные удобрения, семена, известь, сверху нанесен слой торфо-песчаной смеси до 5-6 см, затем второй слой криогелеобразующего раствора

В 2014г. на территории г. Лабитнанги для АУ ЯНАО «Окружной технологический парк «Ямал» выделен участок земли площадью 2000 кв.м., где планируется высадить от 500 до 1000 многолетних растений. Работы начнутся в 2015 г. Коммерческий потенциал проекта будет рассмотрен не ранее 2016 года.

Возможности криогелей на этом не исчерпываются. Учёными разработаны эффективные и в то же время доступные способы реконструкции дорожных покрытий с помощью криогелеобразующих растворов, изучаются возможности полимеров для строительства в условиях вечной мерзлоты.

## Дороги на вечной мерзлоте – «вечные проблемы»

В.Г.Кондратьев

*Забайкальский государственный университет (ЗабГУ), Чита*

Дороги в криолитозоне строятся и эксплуатируются больше 100 лет, все они, и железные и автомобильные. На участках льдистых многолетнемерзлых грунтов они испытывают многочисленные многолетние деформации, связанные в основном с оттаиванием многолетней мерзлоты в их основании. Федеральная автомобильная дорога «Амур» Чита – Хабаровск, завершённая строительством в сентябре 2010 г. и имеющая для России важнейшее стратегическое значение, испытывает всё возрастающее негативное воздействие инженерно-геокриологических процессов и явлений. Несмотря на то, что финансирование через Росавтодор признаётся удовлетворительным, трасса становится все хуже и хуже. При этом распределение льдистых грунтов в основании дорог и возможности известных защитных мероприятий учитываются в проектах недостаточно.

**Ключевые слова:** многолетняя мерзлота, льдистые горные породы, железные и автомобильные дороги, криогенные процессы, деформации, защитные мероприятия

## Roads on permafrost – "persistent problems"

V.G.Kondratyev

*Transbaikal State University, Chita, Russia*

The roads in permafrost have been built and operated for over 100 years. Both railway and roads in the area of icy permafrost expect numerous and long-term deformation, which are mainly related to the thawing permafrost in their basement. Federal highway "Amur" Chita - Khabarovsk completed in September 2010 and that is available for Russian strategic importance experience an increasing negative impact of permafrost engineering processes and phenomena. Despite the fact that the Rosavtdor funding is recognize satisfactory but the track is getting worse and worse. The distribution of icy soil in the bottom of the road and the possibility of the known protective measures are not enough taken into the project accounts.

**Key words:** permafrost, icy earth's formations, railways and roads, cryogenic processes, deformation, protective measures

### Введение

Решение о строительстве автодороги Чита – Хабаровск было принято Советом Министров СССР в 1966 г., затем более 10 лет Союздорпроект, Иркутскгипродорнии и Дальгипродорнии проводили изыскания и проектирование дороги. Строительство началось в 1978 г., завершилось в сентябре 2010 г. и обошлось в 200 млрд. рублей. Об опасности их и необходимости своевременной защиты автодороги «Амур» Чита – Хабаровск в период её проектирования и сооружения говорилось неоднократно [Кондратьев 2003а, 2003б, 2007], но к сожалению Дирекцией строительства дороги и Росавтодором это в основном игнорировалось под предлогом дефицита времени и денег.

Дорога имеет протяженность 2165 км и пересекает с запада на восток Забайкалье и Приамурье – территории с весьма неоднородными геоморфологическими, геолого-тектоническими и ландшафтно-климатическими условиями, что в свою очередь предопределяет значительную неоднородность инженерно-геокриологических условий трассы. На трассе имеются районы с очень сложными, сложными, относительно сложными и относительно простыми инженерно-геокриологическими условиями. Причем сложность условий в основном определяется наличием и льдистостью многолетнемерзлых пород, их просадочностью при оттаивании, а также пучинистостью

при промерзании сезонно-талых и сезонно-мерзлых грунтов.

### Инженерные и экономические проблемы

При строительстве и первых лет эксплуатации дороги произошли существенные изменения мерзлотной обстановки и активизировались неблагоприятные инженерно-геокриологические процессы и явления, в частности, термокаст, пучение, солифлюкция, термоэрозия, наледи и др., разрушающие дорогу и создающие предпосылки к снижению скорости и безопасности движения автомобилей. Уже в год завершения строительства дороги 263 км (12,1%) нуждались в капитальном ремонте, а около 400 км (18,5%) – в реконструкции. Иными словами, проектная скорость движения автомобилей 100 км/час почти на трети протяжённости только что построенной дороги «Амур» не обеспечена. Не зря В.В. Путин назвал её «хорошей просёлочной дорогой», проехав в августе 2010 г. от Хабаровска до Читы.

Не прошло и 5 лет, а дорога стала хуже не смотря на постоянный ремонт. Стремительно растет количество мест с просадками земляного полотна, обусловленными оттаиванием (деградацией) многолетнемерзлых грунтов в основании дороги (рис.1).

По данным ФКУ «Упрдор «Забайкалье» (табл.1) на Забайкальской части автодороги «Амур» в 2011 г. отмечалось 68 мест с просадками земляного полотна, их



пытались устранить силами подрядных организаций в рамках гарантийных обязательств. В 2012 г. таких мест стало почти в 5 раз. К настоящему времени затраты стали ещё больше. Всего же на ремонт федеральных дорог в Забайкалье в 2015 г. планируется выделить 5,3 миллиарда рублей, что почти на 1 миллиард больше, чем в 2014 г.

Аналогичная ситуация и на Амурской части дороги «Амур». По данным ФКУ ДСД «Дальний Восток» (табл. 2) за период с 2010 по июнь 2013 г. пришлось отремонтировать 178 км, а затраты составили 4302937 тыс. руб.



Рис. 1. Состояние автодороги «Амур» на одном из участков деградации многолетней мерзлоты в её основании, Забайкальская часть дороги, 19 октября 2014 г.

Таблица 1. Просадки и затраты на их устранение на Забайкальском участке автодороги «Амур» Чита-Хабаровск, км 0 – км 794 (741+588) (по данным ФКУ «Упрдор «Забайкалье»)

Просадки и затраты на устранение	2011	2012	2013, июль
Количество зафиксированных просадок, шт.	68	327	330
Общая площадь просадок, м <sup>2</sup>	-	103159	103960
Площадь устраненных просадок, м <sup>2</sup>	Просадки устранялись по гарантиям строителей	40874	12356,6
Затраты на устранения просадок, тыс. руб.		34265	11738,8
Затраты на устранения 1 м <sup>2</sup> просадок, руб.	-	838	950

Примечания: 1. Кроме того систематически выполняются работы по восстановлению ровности покрытия в рамках текущего содержания дороги. 2. По состоянию на июль 2013 г. было выявлено 330 просадок, устранено 111, осталось 119. На устранение просадок дополнительно на 2013 г. затребовано 51610,6 тыс. руб.

Надежды Росавтодора на гарантийные обязательства строителей, выданные на 3 года, рухнули, поскольку стало очевидно, что просадки земляного полотна — это не мелкие недоделки строителей, а системные просчеты Росавтодора и проектировщиков: трасса автодороги «Амур» проходит по территории с вечной мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием грунтов, а необходимого геокриологического обоснования изысканий, проектирования и строительства автодороги не было. Часто это приводило либо к недооценке опасности возможных инженерно-геокриологических процессов и явлений и применению ненадежных технических решений и конструкций элементов дороги, либо, наоборот, к переоценке такой опасности и применению излишне дорогостоящих и длительных по исполнению технических решений и конструкций [Кондратьев 2003а, Кондратьев и др 2010].

### Мероприятия по защите земляного полотна

Сейчас Росавтодор судорожно пытается остановить разрушение автодороги «Амур» криогенными

процессами: в спешном порядке проводятся изыскания и разработка стабилизационных мероприятий, ведутся разговоры об организации опытных стационаров, привлечении американцев, проводятся заседания технических и пр. советов. Так, 23 июля 2013 г. с большой помпой (приглашены 2 американца, работала камера) в Росавтодоре состоялось заседание научно-технического совета, где ФКУ «Упрдор «Забайкалье», ФКУ ДСД «Дальний Восток», ОАО «Иркутскгипродорнии», ООО «СметаПлюс» докладывали по проблеме стабилизации деформирующихся участков автодороги «Амур». Заседание готовилось 5 месяцев, на него возлагались большие надежды. Однако, что же предложил Иркутскгипродорнии по рекомендациям ООО «Сибиндор» и Института мерзлотоведения СО РАН? Арсенал технических решений невелик (табл.2).

Предложенные Иркутскгипродорнии мероприятия (типы 1-6), рекомендованные ООО «Сибиндор» и Институтом мерзлотоведения СО РАН, бесполезны, а первые 3 – вредны.

Таблица 2. Мероприятия по предотвращению деформаций земляного полотна автодороги «Амур», предложенные ОАО «Иркутскгипродорнии»

Мероприятие, №	Дефекты земляного полотна и покрытия	Условия применения	Замечания (Кондратьев В.Г.)
1. Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем	Просадки обочин и откосов, продольные трещины на покрытии и обочине	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. Верхний горизонт многолетней мерзлоты (ВГММ) вошел в насыпь. Поверхностный водоотвод обеспечен.	Зачем бермы из суглинка при обеспеченном водоотводе?
2. Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем, водоотводный лоток из геомембраны	Просадки, продольные и поперечные трещины, сетка трещин	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. ВГММ понизился под насыпью. Замена и осадка грунтов при строительстве.	Зачем бермы из суглинка при водоотводном лотке?
3. Приоткосные бермы и водоотводные валики из суглинистого грунта с каменным заполнителем	Те же	Насыпи на косогоре, фильтрация воды в откос насыпи.	Зачем бермы из суглинка при водоотводном валике?
4. Укрепление грунтов основания криогелем	Просадки, волны, продольные и поперечные трещины на покрытии	Переувлажненные, сильнольдистые, недреннирующие грунты. Наличие водотока.	Как закачать криогель в недреннирующие грунты? Не остановит деградацию многолетней мерзлоты.
5. Укрепление грунтов основания сухобетонной смесью	Те же	Переувлажненные, сильнольдистые, недреннирующие грунты. Наличие водотока.	Не остановит деградацию многолетней мерзлоты.
6. Сезонноохлаждающие устройства (СОУ)	Те же	Лед или сильнольдистые грунты в основании насыпи	Локальное воздействие в радиусе 3-4 м
7. Солнцезащитные навесы	Те же	Переувлажненные и сильнольдистые просадочные грунты.	

Приоткосные бермы (типы 1-3) окажут противоположное ожидаемому действие – увеличат чашу оттаивания многолетнемерзлых грунтов и вызовут дополнительные длительные просадки дороги. Это подтверждено более чем 40-летним опытом БАМ, где также пытались бороться с просадками земляного полотна с помощью берм. Дополнение берм водоотводными лотками или валиками не спасет ситуацию.

Применение криогеля (тип 4) или сухобетонной смеси (тип 5) не может прекратить деградацию многолетней мерзлоты в основании дороги, поскольку асфальтированная дорога будет по-прежнему прогреваться солнечной радиацией, а снежный покров на обочинах и откосах насыпи, а также в канавах будет препятствовать охлаждению их зимой – деформации будут продолжаться.

Применение одиночных СОУ, устанавливаемых через 3 м вдоль дороги, не может прекратить деградацию многолетней мерзлоты в её основании дороги, вследствие их локального влияния – деформации будут продолжаться. Об этом свидетельствует 12-летний опыт их применения на Тибете и 27-летний на БАМе.

Тем не менее, предлагается применить эти мероприятия для стабилизации 72,66 км земляного полотна, посчитана стоимость мероприятий – 2 943 836 490 руб. Стоимость ремонта 1 м дороги в среднем – 40515 руб. Стабилизации же земляного полотна не произойдет по изложенным выше причинам.

Только солнцезащитные навесы (тип 7), рекомендованных НПП «ТрансИГЭМ», могут быть

полезны, поскольку доказали свою эффективность на Аляске [Zarling Breley 1986], в Тибете (рис.2) [Feng Wenjie et al 2009] и на БАМе [Кондратьев Валиев 2011].



Рис. 2. Сооружение солнцезащитного навеса на Цинхай-Тибетском шоссе, сентябрь 2003 г

Их эффективность обусловлена предотвращением поступления прямой солнечной радиации и теплых летних осадков на поверхность защищаемого массива грунта и усилением теплоотдачи из него зимой, поскольку под навесом не формируется снежный покров [Кондратьев 2011]. Стоимость же навеса, как показал опыт БАМ [Кондратьев Валиев 2011], в 20-25 раз меньше стоимости берм из скального грунта. В арсенале ТрансИГЭМ имеются и другие эффективные решения по стабилизации земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах [Кондратьев 2011].

### Стабилизация перехода через руч. Чичон

ООО «СметаПлюс» на научно-техническом совете Росавтодора 23.07.2013 г. докладывало о проекте капитального ремонта участка автодороги «Амур» на переходе через руч. Чичон, 247 км, постоянно

деформирующегося с 2001 г. (рис.3) [Кондратьев 2003а, 2003б, 2007, Кондратьев и др 2010]. Мероприятия могут быть эффективны, но вестма затратны.



Рис.3. Состояние автодороги «Амур» на переходе через руч. Чичон, 247 км, 16 августа 2013 г.

**Мероприятие 1** – разборка насыпи, вырезка талых грунтов из основания насыпи, заполнение котлована послойно промораживаемым грунтом и сооружение новой насыпи из послойно промораживаемого грунта – создание «холодного ядра». Мероприятие технически осуществимо, но предложенная технология не целесообразна. Надмерзлотный талик под насыпью можно проморозить и без разборки насыпи высотой до 20 м и разработки котлована глубиной до 7-8 м. Главное, прекратить дальнейшую деградацию многолетней мерзлоты под насыпью.

**Мероприятие 2** – консервация «холодного ядра» в насыпи с помощью теплоизоляции. Утопия, без ежегодной «подпитки» холодом «холодное ядро» исчезнет под отепляющим воздействием солнечной радиации через откосы насыпи и черное асфальтобетонное покрытие. Устройство вентилируемых труб диаметром 1 м в основании насыпи – полезное мероприятие для охлаждения нижележащих грунтов основания насыпи, в особенности в сочетании с теплоизоляцией над трубами, однако диаметр их должен быть в 2-3 раза меньше и укладывать их следует не выше 0,5 м от подошвы насыпи. «Холодное» же ядро вентилируемыми трубами охлаждаться не будет из-за расположения над ними теплоизоляции.

**Мероприятие 3** – размещение гидроизоляционной пленки над «холодным ядром» для предотвращения попадания грунтовых вод в тело насыпи, а также устройство в земляном полотне каптажного дренажа из полиэтиленовых труб с полиэтиленовыми смотровыми колодцами. На участке нет потока таких вод в земляном полотне, соответственно, и защита от них не нужна. Необходима защита поверхности и откосов насыпи от теплых дождевых вод, выпадающих здесь в основном в июле-августе и составляющих около 70% годовой суммы осадков.

**Мероприятие 4** – устройство банкета в нагорной стороне земляного полотна для обеспечения поверхностного водоотвода. Нет необходимости в этом,

т.к. дождевые воды свободно стекают по существующей задернованной поверхности.

**Мероприятие 5** – размещение в теле насыпи естественно вентилируемых прослоек из бутового камня. Малоэффективное мероприятие в условиях преобладания безветренной погоды в зимний период, а размещение каменных прослоек над теплоизоляцией практически полностью исключит их охлаждающее воздействие на «холодное ядро».

**Мероприятие 6** – укрепление откосов насыпи засевом многолетних трав с целью уменьшения воздействия солнечной радиации на поверхность земляного полотна. Малоэффективное мероприятие с точки зрения уменьшения воздействия солнечной радиации на земляное полотно. Незначительный эффект затенения поверхности откосов травяным покровом будет снижен отепляющим влиянием более рыхлого и мощного снежного покрова на техногенной травяной поверхности по сравнению с поверхностью с естественной растительностью.



Рис.4. Состояние автодороги «Амур» на переходе через руч. Чичон, 247 км, 19 октября 2014 г.

Таким образом, правильно понимая причину многолетних деформаций автодороги «Амур» на переходе через руч. Чичон и направление возможных стабилизационных мероприятий, ООО «СметаПлюс» предложило громоздкий, дорогостоящий и не эффективный набор мероприятий. Они во многом умозрительны и не обоснованы теплотехническими расчетами. Реализация их не приведет к длительной стабилизации участка, будут напрасно потрачены средства и потеряно время, как и при предыдущих ремонтах участка в 2006, 2008 и 2010 гг. Поражает размах проектировщиков: почти полмиллиарда рублей на 200 м дороги, в 2006 г. ремонт участка обошелся в 10 млн., правда и он оказался бесполезным. Проект нуждается в коренной переработке, поскольку не решает главной задачи – стабилизации участка, а стоимость его реализации чрезмерна. Необходимо разработать другие технические решения, которые позволят не только стабилизировать участок и предотвратить дальнейшее опасное развитие деформаций автодороги «Амур» на переходе через долину руч. Чичон, но и кардинально уменьшить стоимость и продолжительность ремонта.

При этом следует иметь ввиду, что отработанные на

этом участке эффективные в техническом и экономическом отношении стабилизационные мероприятия могут быть полезны и на других участках дороги «Амур», где имеются льдистые грунты и где также развиваются деформации земляного полотна вследствие деградации многолетней мерзлоты.

### Выводы

Для обеспечения устойчивости и надежности автодороги «Амур» в период ее эксплуатации необходимы: своевременное выявление закономерностей развития мерзлотных условий на трассе, систематический контроль их динамики и криогенного воздействия на элементы дороги, осуществление защитных мероприятий. Наиболее эффективно это возможно в рамках системы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги «Амур», осуществляемой на единой научно-методической основе. Такая основа была разработана ТранСИГЭМ в 2004-2006 гг., передана в Росавтодор в 2006 г. в виде проекта ОДМ «Рекомендации по инженерно-геокриологическому обоснованию эксплуатации федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск», опубликована в 2010 г. в виде монографии [Кондратьев Соболева 2010] и передана в ОАО «Иркутсгипродор» в 2012 г. в виде программы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги «Амур».

Необходимо безотлагательно обеспечить федеральную автомобильную дорогу «Амур» Чита – Хабаровск защитой от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений – создать систему инженерно-геокриологического мониторинга дороги, сравнимой с Транссибом и БАМом по значению для развития Забайкалья, Дальнего Востока и страны в целом [Иванов 2003]. Без такой защиты автодорога «Амур» обречена на перманентный ремонт, постоянные ограничения скорости движения автомобилей и колоссальные в связи с этим финансовые и материальные потери государства и населения.

Министр транспорта М. Соколов бодро докладывал президенту В.В. Путину в сентябре 2014 г., что на федеральной дороге «Амур» Чита – Хабаровск при сдаче в постоянную эксплуатацию в 2010 г. насчитывалось 30 больных мест, а в 2014 г. – 500, которые к концу 2014 г. будут «зашлифованы», т.е. закатаны в асфальт.

В России, как известно, на 70% территории имеет место вечная мерзлота и глубокое сезонное промерзание грунтов. Именно там в ближайшие 15-20 лет будет в основном развиваться инфраструктура страны, строиться дороги и именно там нужна новая идеология дорожного хозяйства: мерзлотная составляющая должна пронизывать весь процесс изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации дорог в криолитозоне. Без этого невозможно экономически оптимальным способом обеспечить транспортную и экологическую безопасность автодорог Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока и Европейского Севера. Автодорога «Амур» это наглядно

показала. Сейчас на очереди автодорога «Виллой», где те же заказчики, изыскатели и проектировщики ... Говорят надо создавать опытные полигоны для изучения опыта дорог в криолитозоне. Не надо их создавать – вся автодорога «Амур» полигон для испытаний и опытов.

Наступивший экономический кризис в стране, полагаю, положит конец расточительному перманентному «шлифованию» автодороги «Амур», необходимо прекратить деградацию льдистых многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна дороги, арсенал таких мероприятий разработан и проверен [Кондратьев 2011, Кондратьев Валиев 2011].

### Литература

- Иванов Н.Ф. «Амур» собирает Россию. – М.: Информавтодор, 2003. – 200 с.
- Кондратьев В.Г. О геокриологическом обосновании изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации автодороги Чита-Хабаровск. / Материалы научно-практической конференции «Проблемы проектирования и строительства автомобильной дороги Чита-Хабаровск». Иркутск, Иркутсгипродорнии, 2003. – С. 57-163.
- Кондратьев В.Г. Не повторить ошибок БАМа // Дороги России XXI века, 2003, № 5. – С. 17-19.
- Кондратьев В.Г. Линейные сооружения Забайкалья и прилегающих территорий: анализ проблем // Дорожная держава, 2007, № 8- с. 36-39.
- Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. – Чита: Забтранс, 2011.
- Кондратьев В.Г., Валиев Н.А. Воздействие криогенных процессов и явлений на земляное полотно БАМ на участке Наледный – Хани и возможные пути его защиты. – Тр. Седьмой науч.-тех. конф. с межд. участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог» (г. Москва 17 ноября 2010 г.). Чтения, посвящённые памяти профессора Г.М. Шахунянца. – М.: МИИТ, 2011, с. 114-117.
- Кондратьев В.Г., Соболева С.В., Палкин Д.Д. Инженерно-геокриологические аспекты обеспечения безопасности федеральной автодороги «Амур» Чита-Хабаровск // Мир дорог, 2010, октябрь/№ 51. – С. 2-4.
- Кондратьев В.Г., Соболева С.В. Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга автомобильной дороги «Амур» Чита-Хабаровск. – Чита: Забтранс, 2010. – С.176.
- Feng Wenjie, Wen Zhi, Sun Zhizhong & Wu Junjie, 2009. Application and Effect Analysis of Awning Measure on Cold Regions. Proceeding of the Eighth International Symposium on Permafrost Engineering. 15-17 October, 2009, Xi'an, China. Pp. 148-160.
- Zarling J.P. & Breley A.W. Thaw stabilization of roadway embankments constructed over permafrost. Report NO FHWA-AK-RD-81-20, 1986.



## Ландшафты и традиционное природопользование

Н.Г.Хайруллина, Н.А.Балюк

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Для исследования взаимоотношений человека с окружающей средой в связи с промышленным освоением округа авторы рассматривают ландшафты как элемент традиционного природопользования обских угров. Решение проблем традиционного природопользования в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре связывается с природным районированием. Авторы обобщают научную литературу по ландшафтной дифференциации округа с учетом истории формирования исследуемой территории. Для функционирования хозяйственных комплексов традиционного природопользования предлагается разработать ландшафтно-экологические карты для определения ресурсной оценки качества земель и природной среды, что позволит развивать традиционное природопользование обских угров.

**Ключевые слова:** геосистемы, ландшафты, ландшафтное районирование, обские угры, традиционное природопользование

## Landscapes and Traditional Nature

N.G.Khairullina, N.A.Baluk

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

To study the relationship between man and the environment in connection with industrial development district authors of the landscape as an element of traditional nature Ob-Ugric peoples. Solution to the problems of traditional land use in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra associated with natural zoning. The authors summarize the scientific literature on landscape differentiation County with the formation history of the study area. For the functioning of economic systems of traditional land use is proposed to develop landscape-ecological maps for determining the resource assessment of the quality of land and natural environment that will promote traditional land Ob-Ugric peoples.

**Keywords:** geosystems, landscapes, landscape regionalization, Ob Ugric peoples, traditional land

В настоящее время для территории Ханты-Мансийского автономного округа-Югры важной проблемой остается характер взаимоотношений человека с окружающей средой в связи с промышленным освоением округа [Тюменская область... 2005]. При нерациональной эксплуатации природных ресурсов возникают конфликтные ситуации, обусловленные низким уровнем учета особенностей строения и режима функционирования геосистем различного уровня, их способностью выдерживать антропогенные нагрузки. Это свидетельствует о необходимости более глубокого исследования системы «природа-хозяйство-население» в экологическом контексте [Балюк 2006, Хайруллина Балюк 2000].

Природное районирование является важным элементом в решении проблем традиционного природопользования в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре. Авторами предпринята попытка обобщения научной литературы по ландшафтной дифференциации округа с учетом истории формирования исследуемой территории [Москвина Козин 2001]. Ландшафтно-типологический уровень информационного поля будем характеризовать с учетом свойств компонентов ландшафта (особенности местоположения, рельефа, типа рельефообразующих пород и мощности торфяных залежей, уровня грунтовых

вод, почв, растительности и т.п.) [Козин 1987]. В процессе реконструкции традиционного природопользования в районах с нарушенной биосферой ландшафтное районирование незаменимо, поскольку обеспечивает выделение однородных территориальных природно-хозяйственных локусов [Хайруллина Балюк 2000].

Ландшафтному районированию, проведенному на территории в Ханты-Мансийского автономного округа-Югры, присущи следующие качественные характеристики:

1. ландшафтно-территориальные районы достаточно однородны в природном отношении, максимально приближены к соответствующим единицам физико-географического районирования (природным зонам);

2. ландшафтно-территориальные районы достаточно однородны в экологическом отношении, т.е. входящие в районы ландшафтные комплексы характеризуются близкими показателями ценности и устойчивости к техногенным воздействиям разных видов;

3. районы учитывают характер освоенности территории, выделяются в границах удобных для принятия экономических решений (проведения политики природопользования [Москвина Козин 2001]).

При проведении ландшафтного районирования учитываются законы природной ландшафтной и ресурсной дифференциации [Козин 1987]. Процесс районирования территории округа включает анализ трех составляющих ландшафтных комплексов. Первая составляющая раскрывает роль геологических и биотических факторов в дифференциации ландшафтных комплексов. Вторая - учитывает структуру ландшафтов регионального ряда на разных таксономических уровнях. Третья – ресурсная составляющая включает анализ полезных свойств ландшафта в хозяйственном обороте.

Отметим, что ландшафтное районирование ориентировано на выделение территориальных общностей, относительно однородных в природно-ресурсном отношении и в плане проектного освоения. В связи со значительной территориальной протяженностью, на территории округа выделяют следующие ландшафтные единицы: физико-географическая страна (крупная орографическая структура, включающая Уральскую горную и Западно-Сибирскую равнинную); ландшафтная область (региональная ландшафтная структура, обособленная внутри страны, обусловлена распространением ландшафта одного класса - возвышенного, низменного, низинного; ландшафтные области отвечают территориально связанным и близким типам морфоструктур; связанные с морфоструктурами группы орографических единиц определяют зональную трансформацию тепла и влаги); ландшафтная провинция (региональная ландшафтная структура, территория распространения одного или нескольких родов ландшафта; провинции, как правило, целиком располагаются в пределах одной природной подзоны [Балюк 2006, Хайруллина Балюк 2000]).

К ним относят следующие ландшафтные структуры:

- 1.(А.1.) Урало-Обская ландшафтная область;
- 2.(А.2.) Обско-Енисейская ландшафтная область;
- 3.(А.3.) Сибирско-Увальская ландшафтная область;
- 4.(А.4.) Приенисейская ландшафтная область;
- 5.(А.5.) Кондинско-Ваховская ландшафтная область;
- 6.(А.6.) Кетско-Ваховская ландшафтная область;
- 7.(А.7.) Юганско-Ваховская ландшафтная область;
- 8.(А.8.) Обско-Иртышская ландшафтная область;
- 9.(А.9.) Ландшафтная область Приполярного Урала;
- 10.(А.10.) Ландшафтная область Северного Урала.

Далее приведем общую характеристику ландшафтных провинций ХМАО-Югры, в которые входят Березовский, Белоярский и Сургутский административные районы. Целесообразность включения в структуру проекта ландшафтных характеристик обусловлена дальнейшей разработкой типологии хозяйственных комплексов природопользования, максимально адаптированных к естественно-географическим особенностям этих районов компактного проживания обских угров.

Для функционирования хозяйственных комплексов традиционного природопользования необходимо разработать ландшафтно-экологические карты для

определения ресурсной оценки качества земель и природной среды. Комплексное ландшафтно-экологическое и геоботаническое обследование земель позволит осуществить: 1) оценку качества земель: а) пригодных для использования под оленьи пастбища; б) используемых под охотничьи и рыбопромысловые угодья; в) используемых под промысловые угодья дикоросов; 2) определить изменение качества земель, подверженных воздействию антропогенных факторов; 3) выявить динамику изменения качества земель в результате механических нарушений растительного покрова и почв, пожаров и вырубок; 4) определить зоны стрессового воздействия промышленных объектов на земельные угодья и экосистемы; 5) выявить изменения качества оленьих пастбищ в зависимости от организации выпаса оленей; 6) осуществить комплексную оценку качества земельных угодий территорий традиционного природопользования; выявить ресурсы охотничье-промысловых животных; 7) выявить рыбопромысловые ресурсы [Хайруллина 2000, Харамзин Хайруллина 2003].

В заключение отметим, что опыт жизнеобеспечения и выживания в экстремальных условиях Севера вселяет надежду на развитие традиционного природопользования обских угров [Тюменская область... 2005]. Глубокое, совершенное понимание миропонимание и осознанное стремление к сохранению своего специфического, проверенного веками, образа жизни ханты и манси округа демонстрируют и сегодня.

## Литература

- Балюк Н.А. Традиционное природопользование в системе ландшафтного районирования территории ХМАО //Вестник Тюменского нефтегазового университета «Региональные социальные процессы». – 2006. - №2. – С. 62-64.
- Козин В.В. Тектоно-ландшафтное районирование //Проблемы географии Западной Сибири. – Тюмень, 1996.
- Михеев В.С. Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. – Новосибирск: Наука, 1987.
- Москвина Н.Н., Козин В.В. Ландшафтное районирование Ханты-Мансийского автономного округа. - Ханты-Мансийск, 2001.
- Тюменская область: общество и наука (социально-экономическое и этнокультурное развитие) /Под ред. В.К.Левашова, Н.Г.Хайруллиной. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2005.
- Хайруллина Н.Г. Социодиагностика этнокультурной ситуации в северном регионе. – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2000.
- Хайруллина Н.Г., Балюк Н.А. Реконструкция традиционного природопользования обских угров. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2007. – 244 с.
- Харамзин Т.Г., Хайруллина Н.Г. Обские угры (социологические исследования материальной и духовной культуры). – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2003.



## Some Common Embankment Problems for Linear Transportation Routes and Currently Used Solutions

Stuart A. Harris

*Department of Geography, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, T2N 1N4.*

### Abstract

There are several common problems that arise when building embankments for linear transportation routes. These include underground taliks draining sloping land higher than the selected alignment, cracking of the surface of the embankment and longitudinal subsidence, development of thermokarst at the base of the side-slopes, and culvert problems. These will be discussed in turn.

**Key words:** embankments for linear transportation routes, taliks draining sloping land, longitudinal subsidence, thermokarst at side-slopes, culvert problems

### Некоторые общие проблемы отсыпок для линейных транспортных сооружений и типовые решения

С.А.Харрис

*Факультет географии Университета Калгари, Калгари, Альберта, Канада, T2N 1N4.*

### Реферат

При создании линейных транспортных систем возникает несколько общих проблем. К ним относятся подземные талики, дренирующие наклонную поверхность сильнее, чем это предполагалось при планировке, растрескивание отсыпки и продольное оседание, термокарст под откосами отсыпок, проблемы водопротуска.

**Ключевые слова:** отсыпки линейных транспортных сооружений, дренаж по таликам, продольное оседание, термокарст под откосами, проблемы водопротуска

### Underground taliks draining slopes

In areas of permafrost, precipitation and meltwater often penetrate into the ground in the uplands along joints and cracks, and collect together underground to flow downslope as a subhorizontal talik in the permafrost. This water reappears on the valley floors as springs, seasonal frost mounds, icings and icing blisters, or it may discharge into lakes or streams. The exact location of the reappearance of the reappearance on the valley floor varies from year to year as demonstrated by the changing location of seasonal frost mounds. This implies that the position of the talik can change over relatively short periods of time, just like changes in surface stream courses.

Currently, this is not usually considered when making the thermal calculations in planning the construction, but the consequences of these taliks show up shortly after construction is complete. Geophysics may provide a method of determining the position of the talik at a given time, though unless this is regularly monitored, the only evidence of the changes in the presence of these taliks is failure of the embankment. The advection of heat by the water in the talik

cannot readily be estimated, even assuming the talik does not move. Currently, the only way to cope is to apply remedial measures to correct the resulting settlement by adding thermosiphons, etc.. This still does not solve the problem of predicting the potential wandering of the talik with time.

### Cracking and erosion of side slopes

Four kinds of problems are involved here, viz., longitudinal cracking, cracking on the side slopes, longitudinal settlement, and slope erosion. Wang et al. [2008] provide statistics on these problems based on 30 years of data collected along the original Golmud-Lhasa road for embankments of different heights and aspects (Figure 1). Longitudinal cracking is the most common, but all four problems become important on embankments exceeding 2.5 m in height. Since there are both minimum and maximum heights of embankments to be effective in protecting the permafrost (Figure 2 from [Cheng et al. 2004]), this becomes an important factor regarding maintenance of the embankment, particularly on gravel-surfaced roads. Regular addition of stable surface material is required to combat the lateral and vertical movements observed by Esch [1983].

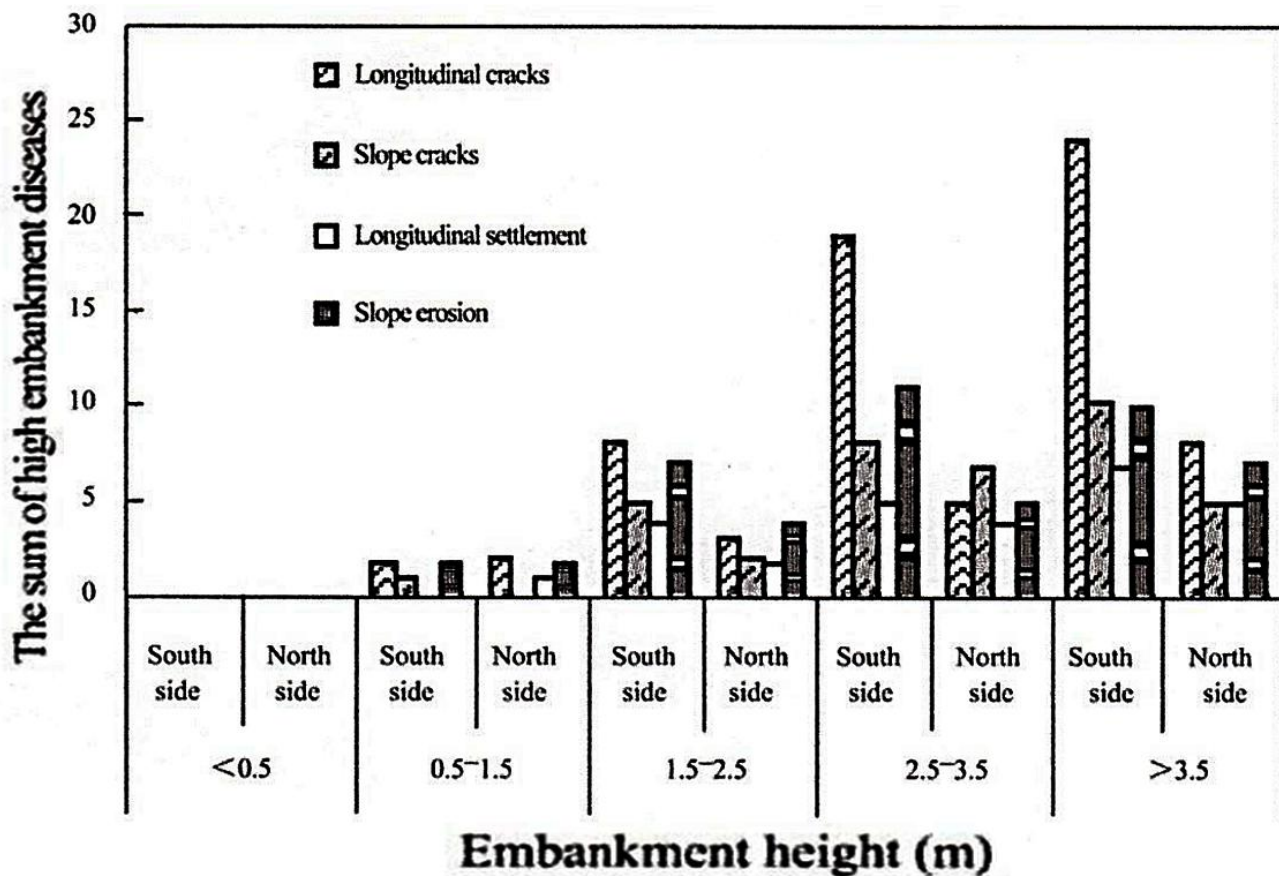


Fig.1. Relationship of permafrost problems on the original Golmud-Lhasa road to embankment height during the first 30 years of study (from [Wang et al. 2009], with permission).

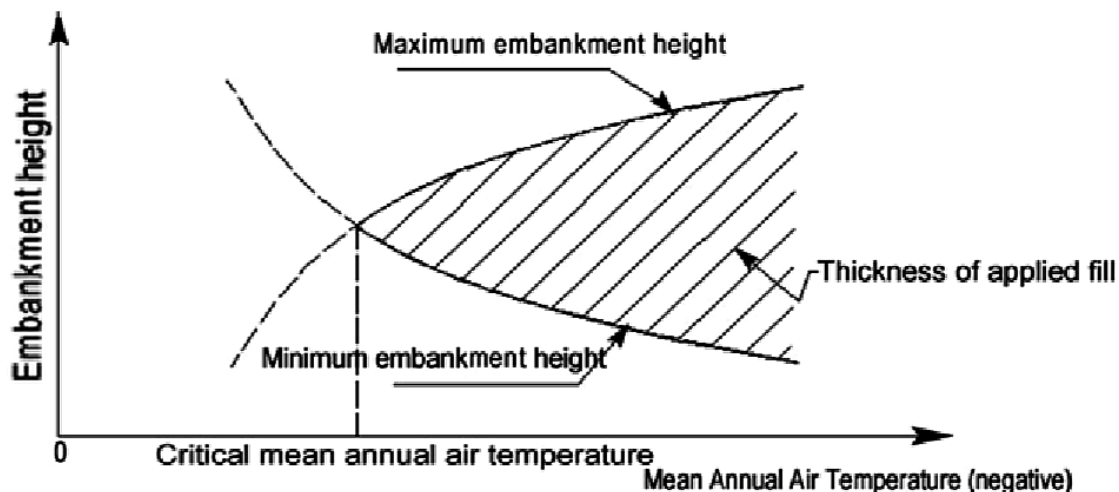


Fig.2. Diagram showing the limits of effective use of embankments to protect the underlying permafrost (from Cheng et al., 2004).

Methods of amelioration which work include use of ventilation ducts to cool the embankment, shading [Kondratiev 1996; 2010; 2013], tubular heat drains [Beaulac 2006; Beaulac Gore 2006a; 2006b], a combination of toe berms and geotextiles [Liu et al. 2014], and the use of wicking fabrics [Lai et al. 2012]. These vary in cost and

effectiveness with the situation. In the case of ventilation ducts, they must be made of a continuous pipe, or else frost jacking can eject the outer sections. These also need to be closed in summer [Sun et al. 2014]. Shading only works in the absence of strong winds [Feng et al. 2012], and is most effective at low latitudes.

## Culverts

These present a major problem in several ways. They ice up in winter, they block overland flow in spring, and they heat up the surrounding embankment in summer. This heating up of the embankment in summer and blocking of overland flow in spring is a major cause of washouts of embankments. Methods of amelioration include “moose warmers” consisting of a diesel burner heating the water flowing through the culvert, daily steaming of the duct to thaw a passageway for spring runoff, electrical heating wires running through the duct supplied with electricity, piles of stones at the entrance to the duct, and closing the ducts in winter but reopening them before the spring thaw. The piles of stones only work if there is no water flowing in winter. Where there is significant winter flow of water, icings become a major problem. The use of stacked over-sized culverts can stave off the problem for a while, but eventually the water will flow over the road producing a slippery sloping surface that makes the road impassable. Then the icing must be scraped off the road surface every day to allow traffic to pass. Other controls include hessian fences and alternative drainage-ways upslope, where possible.

## References

- Beaulac, I., 2006. Impacts ge la finte du pergélisol et adaptations des infrastructures de transport routier et aérien au Nunavik. M.Sc. thesis, Département de Génie Civil, Université Laval, Québec, Canada. 250p. [In French].
- Beaulac, I. and Doré, G., 2006a. Airfields and access roads performance assessment in Nunavik, Québec, Canada. Proceedings of the 3rd International Conference on Cold Regions Engineering, Orono, Maine, USA.
- Beaulac, I. and Doré, G., 2006b. Development of a new heat extraction method to reduce permafrost degradation under roads and airfields. Proceedings of the 3rd International Conference on Cold Regions Engineering, Orono, Maine, USA.
- Cheng, G. D., Zhang, J., Sheng, Y. and Chen, J., 2004. Principle of thermal insulation for permafrost protection. *Cold Regions Science and Technology* 40: 71-79.
- Esch, D. C., 1983. Evaluation of experimental design features for roadway construction over permafrost. Permafrost. 4th International Conference Proceedings, Fairbanks, Alaska. Washington, D.C. National Academy Press: 283-288.
- Feng, W. J., Sun, Z. Z., Wen, Z., Ki, G. Y., Zhang, Z and Yu, W. B., 2012. Application of the awning method to obstruct solar radiation in the permafrost regions of the Qinghai-Tibet Plateau. *Sciences in Cold and Arid Regions* 4(2): 121-126.
- Kondratiev, V. G., 1996. Strengthening railroad base constructed on icy permafrost soil. Proceedings of the 8th International Conference on Cold regions Engineering, Fairbanks. University of Alaska, Fairbanks: 688-699.
- Kondratiev, V., 2010. Some geocryological problems of railways and highways on permafrost of Transbaikal and Tibet. *GEO2*\*10: 541-548.
- Kondratiev, V. G., 2013. Roadbed, embankment, tower support and culvert stability problems on permafrost. *Sciences in Cold and Arid Regions* 5(4): 377-386.
- Lai, Y., Zhang, S. and Yu, W., 2012. A new structure to control frost boiling and frost heave of embankments in cold regions. Doi: 10.1016/j.coldregions.2012.04.002.
- Liu, M.-H., Niu, F.-J., Fang, J.-H., Lin, Z.-J., Luo, J. and Yin, G.-A., 2014. In-situ testing study on convection and temperature characteristics of a new crushed-rock slope embankment design in a permafrost region. *Sciences in Cold and Arid Regions* 6(4): 378-387.
- Sun, H., Ge, X.-R., Niu, F.-J., Liu, G. and Zhang, J.-Z., 2014. Cooling effect of convection intensifying composite embankment with air doors on permafrost. *Sciences in Cold and Arid Regions* 6(4): 372-377.
- Wang, S. J., Chen, J. B. and Qi, J. L., 2009. Study on the technology for highway construction and engineering practices in permafrost regions. *Sciences in Cold and Arid Regions* 1(5): 412-422.



## Криолитозона и арктический шельф в условиях меняющегося климата на примере отдельных районов Российского сектора Арктики

Т.В.Ходжер

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Е.А.Ваганов

*Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия*

В 2009-2014 гг. в рамках проекта № 23.6, программы Президиума РАН № 23 проведены комплексные исследования современного состояния атмосферы, воды, донных отложений, биоты, криолитозоны побережья в районе нижнего течения р. Енисей, на шельфе Карского моря. Установлены закономерности распределения органического материала в прибрежно-шельфовой зоне, прилегающей к ледистым берегам моря Лаптевых. Получены данные о захоронении органического материала в подводных талых и многолетнемерзлых субаквальных породах западной части губы Буор-Хая моря Лаптевых. Полученные результаты могут служить основой для создания региональных систем экологического мониторинга на арктических территориях до начала их промышленного освоения, могут использоваться для тестирования и уточнения современных прогностических моделей климата.

**Ключевые слова:** аэрозоль, биота, вода, криолитозона, осадки, шельф.

### Cryolithozone and Arctic Shelf under Conditions of Climate Change as Exemplified by Certain Areas of the Russian Arctic

T.V.Khodzher

*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

E.A.Vaganov

*Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

#### Abstract

In 2009-2014, integrated studies of the current state of atmosphere, water, bottom sediments, biota and cryolithozone were performed in the Yenisei River downstream and on the Kara Sea shelf within the framework of the project 23.6 and RAS Presidium programme 23. We established how organic material is distributed in the coastal-shelf area adjacent to the Laptev Sea shores. It is buried in the underwater thawed and permafrost submerged rocks in the Gulf of Buor-Khaya of the Laptev Sea. The results obtained can be used as a basis for regional systems of ecological monitoring on the Arctic territories before their industrial exploration, as well as for testing and specification of recent prediction climate models.

**Key Words:** aerosol, biota, water, cryolithozone, precipitation, shelf

#### Введение

В последние годы исследование шельфов Арктических морей привлекает все большее внимание научной общественности в России и за рубежом. Этот процесс имеет под собой, как экономические, так и экологические причины. Северный Ледовитый океан уже давно рассматривается как крупнейший нефтегазоносный бассейн. В настоящее время основные перспективы на углеводородное сырье связываются с шельфовыми окраинами океана, на которых выявлены многочисленные месторождения нефти и газа.

Разведка и освоение месторождений нефти и газа на континентальном шельфе, как правило, предполагают разработку и создание региональных систем экологического мониторинга. Поэтому необходимо иметь обширные базы данных по конкретным районам, учитывать большое число влияющих факторов особенно уязвимой северной территории и прогнозировать

отдаленные последствия антропогенных воздействий на континентальном шельфе в рамках существующих научных знаний.

В 2009-2014 гг. в рамках комплексного проекта № 23.6, финансируемого по программе Президиума РАН № 23 пятью Институтами Сибирского отделения РАН и Сибирским федеральным университетом были проведены комплексные исследования современного состояния криолитозоны побережья арктического шельфа Сибири, в том числе захороненного органического вещества. Проведен цикл междисциплинарных исследований в районе нижнего течения р. Енисей, на шельфах Карского моря, моря Лаптевых, на арктических островах.

При выполнении проекта были поставлены и решались следующие задачи: исследование физических параметров, химического состава атмосферного аэрозоля в отдельных арктических районах; оценка химического состава воды, донных отложений в нижнем течении р. Енисей, Енисейском заливе, шельфе Карского моря;



характеристика фитопланктона, таксономического состава биологической активности и адаптационных возможностей микроорганизмов в низкотемпературных условиях многолетнемерзлых пород; анализ углеводородов различного генезиса в воде и донных отложениях на шельфах Карского моря и моря Лаптевых, их формирование и деградация в зависимости от геологических условий и роли биологических сообществ; исследование климатических флуктуаций последних столетий и их влияние на процессы изменения основных параметров криолитозоны; реконструкция регионального температурного режима воздуха за последние столетия по данным элементного состава древесных колец с полуострова Таймыр.

### Основные результаты

Для оценки радиационно-климатического влияния аэрозоля, определения вклада местных источников и дальних переносов примесей в Арктический бассейн в 2011-2014 гг. на архипелаге Шпицберген (гидрометеорологическая обсерватория «Баренцбург», 78°03.54' с. ш., 14°13.16' в. д.) проведены исследования физических характеристик аэрозоля: счетная, массовая концентрация аэрозоля, сажа, проанализирован химический состав примесей в приземном слое атмосферы, определена межгодовая изменчивость анализируемых параметров. В 2014 г. зафиксировано уменьшение как массовой (в 2.4 раза), так и счетной (в 1.8 раза) концентраций аэрозоля по сравнению с предыдущими годами. Массовая концентрация сажи уменьшилась незначительно (в 1.2 раза) [Чернов и др. 2014].

Проанализирован химический состав атмосферного аэрозоля разных размерных фракций в районе нижнего течения Енисея, на шельфе Карского моря. Отбор проб воздуха осуществляли по ходу следования т/х «Советская Арктика» по маршруту Красноярск – Дудинка – Диксон – Гыданская губа – о. Сибирякова – Красноярск.

Наиболее загрязнен приземный слой атмосферы был вблизи г. Красноярска. Повышенные концентрации таких ионов как сульфаты, кальций, аммоний определены на гигантских частицах размером более 10.2 мкм и свидетельствовали о локальном загрязнении атмосферы от лесных пожаров, горения торфа, выбросов промышленной зоны. В северных широтах, в составе аэрозоля преобладала морская составляющая - ионы хлора, и натрия. Содержание суммы десяти определяемых ПАУ в аэрозоле было низким (0.9 -3.5 нг/м<sup>3</sup>), более 50% которых ассоциированы с субмикронными частицами диаметром < 0.69 мкм. Присутствие бенз(а)пирена (до 6%) обнаружено только в пробах аэрозоля на участке р.Енисея от Красноярска до Подкаменной Тунгуски [Голобокова и др., 2012].

Междисциплинарные исследования Карского сектора Российской Арктики (между 75° и 85° в. д.) были сосредоточены в нижнем течении р. Енисей, заливах Енисейский и Гыданский, на шельфе Карского моря, а также на материковой части. Экспедиционные работы проведены на т/х «Советская Арктика» в августе -

октябре 2009 г. на речных, морских и озерных станциях, а также на термокарстовых озерах. Анализируемые районы отличались по условиям формирования, гидрофизическим характеристикам и химическому составу водных масс, что обусловлено влиянием речного стока и морских приливов. Соленость воды изменялась в широких пределах от 1.1 до 8.8 ‰ в поверхностном слое до 2.2 – 26.3 ‰ у дна. Влияние вод Енисея на содержание главных ионов отмечено до Диксона, о чем свидетельствовала низкая соленость поверхностных вод. Наиболее четкое расслоение водных масс и формирование хемоклина наблюдалось в штилевую погоду на глубоководных станциях Воды Гыданской губы отличались крайне низкой минерализацией. Водные массы на всей исследованной части Карского моря, в заливах и низовье Енисея были обогащены кислотородом (7.6 до 11 мг/л) [Бессудова и др. 2014]. В поровых водах поверхностных горизонтов осадков наблюдалось увеличение суммы ионов по направлению от устья р. Енисей и нижней части Гыданской губы к открытому морю. В зоне морских осадков поровые воды по основному солевому составу близки к морской воде. С глубиной горизонта концентрация ионов хлора увеличивалась от 17.5 г/л до 19 г/л. Концентрации остальных ионов с глубиной существенно не менялись, за исключением сульфат -иона, содержание которого уменьшалось с глубиной. С использованием различных методов молекулярной и классической микробиологии (выделение суммарной бактериальной ДНК, ПЦР, секвенирование гена 16S рРНК и флюорисцентной in situ гибридизации -FISH) проанализирована вода и донные осадки исследуемого района на разнообразие групп микроорганизмов, осуществляющих процесс генерации и окисления метана: метаногенов и метанотрофов. В целом, в водной толще Енисейского залива, шельфа моря доминирует психрофильное микробное сообщество, в культивируемом микробном сообществе выявлено преобладание представителей рода *Bacillus*. Группа спорообразующих бактерий рода *Bacillus* в водной толще реки составила 54%, в донных осадках 45.5% от органотрофного сообщества, на шельфе Карского моря это соотношение было 41.3% и 41.1%, в заливе Гыданская губа – 38.1% и 80.5%. Споровые формы составили в воде в среднем 8%, в донных осадках 74%. Таким образом, донные осадки служат аккумулятивным субстратом для сохранения спорных форм [Суслова и др., 2012].

Выявлены различия в разнообразии микробных сообществ в зависимости от минерализации поровых вод. В осадках шельфа с высоким уровнем минерализации поровых вод (30.7г/л) в микробном сообществе доминировали представители *Actinobacteria* (32.4 %) и - *Proteobacteria* (16.7%), осадках со средним уровнем минерализации (8.1 г/л) представители *Actinobacteria* (22.6 %) и *Verrucomicrobia* (16.4 %), в низкоминерализованных осадках (0.7г/л) преобладали представители *Verrucomicrobia* (31.0 %) и *Cyanobacteria* (29.3 %) [Мамаева и др. 2014]

Изучены геокриологические разрезы с полигонально-жильными льдами (ПЖЛ) на участках Диксон, о.

Сибирякова, Белый, Кареповский, (восточный район Карского сектора Арктики), реконструированы обстановки формирования голоценовых жил. Установлены субаэральные обстановки формирования голоценовых и сартанских ПЖЛ Енисейского севера, свидетельствующие об отсутствии покровного шельфового или наземного оледенения [Слагодина и др. 2013]. С конца позднего неоплейстоцена и в голоцене на разных гипсометрических уровнях поверхности в различных по генезису отложениях сформировались ПЖЛ, отличающиеся по морфологии, химическому составу и микробиологическим сообществам. Повышенные концентрации Na и Cl и их отношение, а также обогащение льда B, Br, I, Ba указывают на участие в формировании ПЖЛ морского аэрозоля и морской воды. Расплавы льда с относительным увеличением концентраций Al, Si, K, Ti, Co, Ni, Sr, Ba, редкоземельных элементов и понижением – Zn, Br, I, идентифицируют формирование и рост жил в аэральных условиях. Высокое содержание Mo и U во льду обусловлено выщелачиванием коренных пород на водоразделах тальными водами, которые заливали морозобойные трещины на склонах. На некоторых участках в жилах льда присутствовали культивируемые психрофильные органотрофы, большая часть (92.5 %) которых представлена споровыми бактериями рода *Bacillus*. Эти микроорганизмы выделяют комплекс внеклеточных ферментов для преобразования трудно разлагаемой органики, поступавшей в морозобойные трещины из перекрывающего слоя древесины [Опокина и др. 2014].

На основе комплексного высококорреляционного анализа озерных отложений выявлены вековые и краткосрочные тренды в изменении объема терригенных потоков, биопродуктивности в ландшафтных комплексах; оценены масштабы изменений в криолитозоне за последние столетия и степень влияния климатических перестроек на механизм функционирования многолетнемерзлых пород (ММП). Проведена реконструкция деградации многолетней мерзлоты за последние столетия на основе изучения споро-пыльцевых спектров (СПС) из донных осадков термокарстовых арктических озер, расположенных в ландшафтах северной тайги (66°59' с. ш., 86°57' в. д.), типичной тундры (71°90' с. ш., 82°69' в. д.) и арктической тундры (72°74' с. ш., 79°09' в. д.). На основе палинологических реконструкций прослежены изменения этих ландшафтов при переходе от Малого ледникового периода (МЛП) к Современному потеплению (СП). Активизации термокарстового процесса произошла около 170 лет назад, что совпало с началом периода современного потепления [Fedotov et al. 2012]. Начиная с 1950 годов, отмечен тренд по увеличению интенсивности деградации ММП. При этом, максимум интенсивности деградации ММП следует за температурными максимумами, с запаздыванием в 5-7 лет [Fedotov et al. 2012]. Установлены закономерности распределения органического материала в прибрежно-шельфовой зоне, прилегающей к льдистым берегам моря Лаптевых. Получены данные о строении подводных талых и многолетнемерзлых субаквальных пород в западной части губы Буор-Хая моря Лаптевых,

отличающиеся повышенным содержанием органического вещества за счет большого количества древесного детрита в миоценовых песках Буорхайнской свиты [Разумов и др. 2014]. Большие концентрации органического материала, достигающие 25 весовых процентов, захоронены преимущественно в реликтовой мерзлоте. Средние концентрации органического материала в двух глубоких скважинах (20, 30 м), пробуренных в 2013 г., составили 3.1 и 2.5%, что значительно превышает предыдущие данные, полученные по морским скважинам в этом регионе, где средняя концентрация органического материала не превышала одного весового процента [Khodzher et al. 2014].

Проведены исследования химии древесины у лиственницы (*Larix gmelinii*), произрастающей на северной границе леса в Средней Сибири (восточная часть п-ва Таймыр), находящейся в зоне воздействия техногенных выбросов предприятий Норильского промышленного района. С разрешением в 10 лет проведены измерения содержания 26 элементов в годичных кольцах деревьев для периода с AD 1300 по 2000 [Грачев и др. 2013]. Показано, что химический состав древесных колец существенно и статистически значимо меняется со временем. Концентрации Ca и Mg уменьшаются с 50 годов двадцатого века, содержание K, Mn, Rb, Sr, Ba и P в годичных кольцах возрастает за этот же период. Наблюдаемые тренды концентрации химических элементов статистически значимы и не имеют аналогов на протяжении последних 700 лет [Ваганов и др. 2013]. Сделан вывод об изменении гидротермического режима почв Субарктики и их кислотности, а также доступности питательных веществ, связанных, как с изменением климата, так и с увеличением антропогенной нагрузки со стороны металлургических предприятий, расположенных за Полярным кругом.

С целью выявления путей выноса органического вещества в виде древесных остатков из лесной зоны Евразии и Северной Америки в воды Северного ледовитого океана проведено районирование происхождения древесины, собранной на островах Гренландия, Шпицберген. На основе видовой идентификации более 1400 образцов древесины по результатам макро- и микроскопического анализа их структуры выявлено, что 37.7% всех образцов составляет древесина сосны обыкновенной, доля лиственницы и ели – 25.7 и 18.4%, пихты и сосны сибирской – 4.4 и 2.0%. Образцы лиственных пород классифицированы как ива (7.5%), тополь (3.1%) и береза (1.4%) [Отчет за 2014 г., Проект 23.6].

Полученные в проекте результаты могут служить основой для создания региональных систем экологического мониторинга на арктических территориях до начала их промышленного освоения, использоваться для тестирования и уточнения современных прогностических моделей климата.



## Литература

- Бессудова А.Ю., Сороковикова Л.М., Фирсова А.Д., Томберг И.В. 2014. Современное состояние вод нижнего участка реки Енисей // География и природные ресурсы. – № 3. – С. 93-99.
- Ваганов Е.А., Грачев А.М., Шишов В.В., Панюшкина И.П., Левит С.У., Кнорре А.А., Чебыкин Е.П., Меняйло О.В. 2013. Дендрохронология элементного состава как перспективное направление биогеохимии. // ДАН. – В. 453. – № 6. – pp. 702-706.
- Голобокова Л.П., Маринайте И.И., Филиппова У.Г., Чипанина Е.В., Доля-Лопатина И.Н., Ходжер Т.В. 2012. Исследование атмосферных аэрозолей в атмосфере района р. Енисей и шельфа Карского моря в августе-сентябре 2009 г. // Оптика атмосферы и океана. –Т. 25. – № 6. – С. 513-517.
- Грачев А.М., Ваганов Е.А., Левитт И.П., Панюшкина Е.П., Чебыкин В.В., Шишов Н.А., Жученко А.А., Кнорре М.К., Хьюз М.М., Наурызбаев. 2013. Методология получения 600-летней многоэлементной летописи на основе годичных колец лиственницы с полуострова Таймыр, Россия // Журнал Сибирского Федерального университета. Биология. – № 6. – С. 61-70.
- Мамаева Е.В., Сулова М.Ю., Погодаева Т.В., Парфенова В.В., Земская Т.И. Микробное сообщество донных осадков шельфа Карского моря, Гыданской губы и Енисейского залива // Океанология (в печати).
- Мамаева Е.В., Сулова М.Ю., Погодаева Т.В., Парфенова В.В., Земская Т.И. 2014. Микробное некультивируемое сообщество донных осадков Гыданской губы и Енисейского залива Карского моря // Океанология. – Т. 54. – № 3. – С. 1–11.
- Опокина О.Л., Слагода Е.А., Томберг И.В., Сулова М.Ю., Фирсова А.Д., Ходжер Т.В., Жученко Н.А. 2014. Колебания уровня моря и их отражение в составе и строении полигонально-жильных льдов в низовьях Енисея // Лед и снег. – № 2. – С. 82-90.
- Отчёт по Проекту 23.6. Программы Президиума РАН 23. «Криолитозона и арктический шельф в условиях меняющегося климата; стабильность экосистем и газовые гидраты; пути захоронения органического вещества»
- Разумов С.О., Спектор В.Б., Григорьев М.Н. 2014. Модель позднекайнозойской эволюции криолитозоны шельфа западной части моря Лаптевых // Океанология. – Т. 54. – № 5. – С 679-693.
- Слагода Е.А., Лейбман М.О., Хомутов А.В., Орехов П.Т. 2013. Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море (сообщение 1) // Криосфера Земли. – Т. XVII. – № 4. – С. 11–21. <http://www.izdatgeo.ru>
- Сулова М.Ю., Липко И.А., Мамаева Е.В., Парфенова В.В. 2012. Разнообразие культивируемых бактерий, выделенных из водной толщи и донных осадков шельфа Карского моря (Diversity of Cultivable Bacteria Isolated from the Water Column and Bottom Sediments of the Kara Sea Shelf) // Микробиология. – Т. 81. – № 4. – С. 524-531.
- Чернов Д.Г., Козлов В.С., Панченко М.В., Турчинович Ю.С., Радионов В.Ф., Губин А.В., Прахов А.Н. Особенности изменчивости концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в 2011-2013 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики (в печати).
- Fedotov A.P., Phedorin M.A., Enushchenko I.V., Vershinin K.E., Melgunov M.S., Khodzher T.V. 2012. A reconstruction of the thawing of the permafrost during the last 170 years on the Taimyr Peninsula (East Siberia, Russia) // Global and Planetary Change. – V. 98-99. – pp. 130-152.
- Fedotov A.P., Phedorin M.A., Suvorov A.S., Melgunov M.S., Khodzher T.V. 2012. Permafrost thawing inferred from Arctic lake sediment of the Taimyr Peninsula, East Siberia, Russia // International Journal of Environmental Studies. – V. 69. №1. – pp.7-19.
- Khodzher Tamara, Pogodaeva Tatyana, Grigoriev Michael. 2014. Organic substances in bottom sediments from the shelf-coastal area, the Laptev Sea // Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly 2014. – 2014. – V. 16. EGU2014-16232.



## Изучение динамики техногенных нарушений и их влияния на ландшафты Центрального Ямала полевыми и дистанционными методами

А.В.Хомутов, Ю.А.Дворников, М.О.Лейбман  
 Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
 О.В.Хитун  
 Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург

### Реферат

В работе приведены результаты предварительной оценки техногенного воздействия на тундровые ландшафты Центрального Ямала с применением полевых и дистанционных материалов. Рассмотрена динамика растительного покрова на участках, нарушенных проездами вездеходной техники. Проведена предварительная оценка нарушенности ландшафтов проездами техники до начала возведения искусственных сооружений в пределах изучаемой территории.

**Ключевые слова:** Техногенные нарушения, проезды вездеходов, динамика растительного покрова, зарастание проездов, ландшафты тундры

## Study of Techogenic Disturbance Dynamics and Impact on Landscapes of Central Yamal by Field and Remote-Sensing Methods

A.V.Khomutov, Yu.A.Dvornikov, M.O.Leibman  
 Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
 O.V.Khitun  
 Komarov Botanical Institute RAS, Saint Petersburg, Russia

### Abstract

Results of the preliminary assessment of technogenic impact on tundra landscapes of Central Yamal using field and remote-sensing methods are presented. Dynamics of vegetation cover on surfaces affected by off-road vehicle movement is observed. Disturbance of landscapes with off-road vehicle tracks is preliminarily assessed for the period prior to construction in the study area.

**Key Words:** Technogenic disturbances, off-road vehicle tracks, vegetation dynamics, overgrowing of tracks, tundra landscapes.

### Введение

Изменения ландшафтов криолитозоны под воздействием техногенных факторов изучались немногими авторами [Мельников и др. 1973, Павлов 1979, Тыртыков 1979, Козин 1984, Устинова 2007, Москаленко 2012]. Многолетний мониторинг изменений ландшафтов [Москаленко 2012] в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород в подзоне северной тайги показал, что условия увлажнения и температурный режим пород являются факторами, определяющими развитие природных комплексов в криолитозоне Западной Сибири. Однако, более северное положение, безлесность, сплошное распространение низкотемпературных многолетнемерзлых пород и пластовых льдов, не позволяют в полной мере экстраполировать эти выводы на подзону типичных тундр Центрального Ямала.

Изучению антропогенной трансформации растительного покрова, являющегося наиболее быстро трансформирующимся компонентом ландшафта, после различных техногенных нарушений в районах Крайнего Севера уже давно уделяется достаточное внимание [Андреев 1972, Москаленко 1975, Дружинина 1985,

Творогов 1988, Ребристая и др. 1993, Ишбирдин и др. 1999, Антропогенные... 2006]. Антропогенные изменения глубины сезонного протаивания в основном связаны с антропогенными изменениями растительного покрова [Скорбилин 1992, Антропогенные... 2006, Москаленко 2009 и др.]. При изучении особенностей изменения растительного покрова и глубины протаивания в результате проездов гусеничной техники на Крайнем Севере выявлены факторы, влияющие на различия в характере зарастания [Ребристая и др. 1993, Jorgenson et al 2010, Андряшкина 2012 и др.], проведен ретроспективный анализ изменений структуры растительного покрова при антропогенном воздействии [Московченко 2013], показано, что на нарушенных участках глубина протаивания увеличивается по сравнению с незатронутыми участками [Chapin & Shaver 1981], а в колеях вездеходов могут усиливаться эрозионные и термокарстовые процессы [Rikard & Brown 1974, Невечера и др. 1975].

Ключевой участок, на котором изучается динамика техногенных нарушений, представляет собой геокриологический стационар [Leibman et al 2015] с долговременными наблюдениями, в том числе и за динамикой нарушенных проездами вездеходов



поверхностей [Ребристая и др. 1993, Хомутов и Хитун 2014]. Строительство участка железной дороги Обская-Бованенково на территории, относящейся к стационару, в 2010 г. привело к различному изменению условий функционирования ландшафтов, как непосредственно в полосе железной дороги, так и находящихся на различном удалении от нее, в результате изменения режима увлажнения и активизации криогенных процессов. Также в 2010 г. вновь начата разработка карьеров, что тоже привело к изменениям ландшафтов.

В настоящей работе приведены результаты первоначальной обработки полевых и дистанционных данных на момент времени, предшествующий возведению насыпи железной дороги и началу современного этапа разработки карьеров.

### Результаты

Проведенная оценка динамики растительного покрова и глубины сезонного протаивания в местах проезда вездеходной техники [Хомутов Хитун 2014] послужила предпосылкой для дальнейшей оценки её влияния на ландшафты с помощью классификации линейных нарушений с использованием дистанционных данных.

На начальном этапе исследования было важно оценить влияние проездов техники до момента возведения насыпи железной дороги и возобновления разработки карьеров. Общая протяженность сети проездов в 2009 г. составила 243 км (рис.1) для участка площадью 21 км<sup>2</sup> (24,5 км - активно используемые, 218,5 км - старые и малоиспользуемые). Общая нарушенная проездами площадь составила минимум 1,04 км<sup>2</sup> (почти 5% площади участка). Рассчитано методом буферизации линейных объектов с размером буфера с каждой стороны 2 м для старых и малоиспользуемых проездов и 4 м для действующих, свежих и активно используемых коридоров проездов. В целом, ширина коридоров проездов колеблется от 2,5-4 м (ширина одной колеи) до 35 м (участки длиной 1 км и более) и локально до 100-130 м. Так как буферизация проведена в автоматическом режиме, то общая нарушенная проездами площадь, скорее всего, занижена. К тому же, при дешифрировании на космическом снимке Geo Eye 1 (15/08/2009) проезды часто прослеживаются фрагментарно. Это объясняется тем, что не дешифрируемые к 2009 г. участки колеи практически полностью заросли (подтверждено полевыми исследованиями старых проездов в 2012 г [Хомутов Хитун 2014]).



Рис.1. Ландшафтно-ситуационная карта геокриологического стационара "Васькины Дачи" (для участка площадью 21 км<sup>2</sup>) по состоянию на 2009 г.

1 – гидрографическая сеть: а – малые реки, б – мелкие водотоки, в – временные водотоки; 2 – криогенные оползни скольжения 1989 г.: а – тело, б – поверхность скольжения; 3 – проезды вездеходной техники: а – действующие, свежие и активно используемые, б – старые и малоиспользуемые; 4 – индексы ландшафтов (см. описание в тексте).

Далее рассмотрено в какой степени ландшафты были затронуты проездами вездеходной техники в фоновом состоянии, предшествующем строительству.

Как показано на диаграмме (рис.2), колеи по ландшафтам распределены относительно равномерно с коэффициентом корреляции  $R=0,86$ . Однако, выделяются плоские субгоризонтальные водораздельные поверхности с травяно-кустарничково-моховыми тундрами (3, здесь и далее согл. рис.1) и с бугоркато-кочковатыми кустарничково-травяно-моховыми тундрами (4). В этих ландшафтах общая площадь, затронутая проездами достигает почти 40% от всей площади на изучаемом участке, затронутой проездами, но при этом доля этих ландшафтов не превышает 25% от общей площади участка. Это указывает на то, что эти ландшафты (3, 4) наиболее удобны для проезда вездеходной техники по тундре. То же самое относится и к плоскому пологому склону с кочковатыми кустарничково-осоково-сфагновыми сообществами (9), доля которого в общей структуре ландшафтов участка незначительна, однако более 13% его площади нарушено колеями (почти 4% от общей площади проездов участка). Пологохолмистые водораздельные поверхности (выпуклые вершины холмов, их склоны) с полигональными кустарничково-травяно-лишайниковыми тундрами (1), занимающие почти 15% площади участка, также по дренированности и отсутствию густого растительного покрова, в особенности кустарничкового, удобны для проезда техники, но проезд по таким поверхностям в большинстве случаев осложнен разветвленной овражно-балочной сетью (18). Довольно высокая доля проездов (10%), характерная для вогнутых пологих оползневых склонов с поверхностями скольжения древних оползней с разнотравно-злаковыми ивняками (10), может быть обусловлена необходимостью использования этих склонов в качестве спуска на более низкие поверхности и наоборот, особенно при пересечении долин рек (19) или ложбин стока (17). Повышенная доля проездов (6,5%) в пределах хасыреев (13) связана с тем, что даже при однократном проезде по заболоченным частям этих поверхностей возникает глубокая колея, заполняющаяся водой, что препятствует повторному проезду по ней и способствует возникновению параллельных проездов в непосредственной близости от первоначальной колеи. Вогнутые субгоризонтальные поверхности с кустарничково-осоково-сфагновыми и травяно-моховыми болотами (11), а также низкие озерные террасы (14), малопригодны для проезда техники из-за высокой обводненности. Краевые части плоских субгоризонтальных поверхностей с мелкобугорковатыми полигональными травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми тундрами (5) и плоскобугристые торфяники (6) ввиду их небольшого простираения зачастую пересекаются вездеходами при проезде по другим более обширным поверхностям. На краевых частях с преимущественно лишайниковым покровом это часто приводит к формированию песчаных раздувов, а на торфяниках к деградации торфяных полигонов и заболачиванию с риском развития термокарста. В остальных ландшафтах (2, 7, 8, 12) проезды

распределены равномерно. Пригодность для проезда в ряду этих ландшафтов снижается от плоских водораздельных поверхностей с мелкобугорковатыми травяно-кустарничково-мохово-лишайниковыми и кочковатыми кустарничково-травяно-моховыми тундрами (2) к плоским поверхностям с травяно-моховыми болотами (12). Промежуточное положение занимают плоские слабонаклонные поверхности с травяно-мохово-кустарничковыми тундрами (7) и пологие склоны с кочковатыми разнотравно-злаково-моховыми ивняками (8).

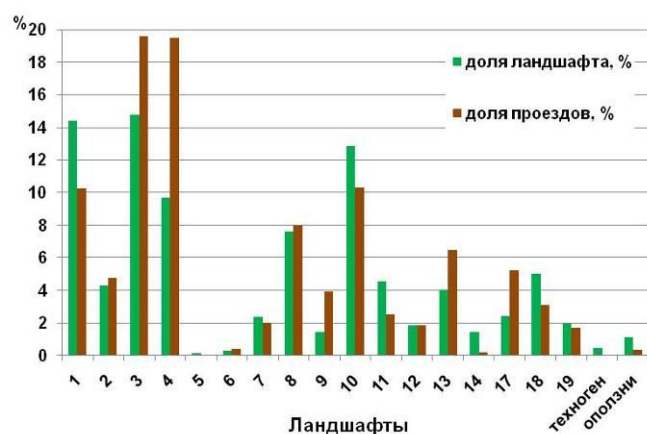


Рис. 2. Доля площадей ландшафтов в общей площади участка; доля площадей, затронутых проездами техники в пределах каждого ландшафта, относительно общей площади проездов участка

Таким образом, за год до возведения насыпи железной дороги и активной разработки карьеров грунта площадь относительно стабильных, как правило, зарастающих при прекращении движения техники проездов составила  $0,56 \text{ км}^2$  (54,1% от общей площади проездов), из них  $0,11 \text{ км}^2$  (10,3%) – с высокой вероятностью возникновения песчаных раздувов. Деградация и медленное восстановление кустарничкового покрова характерны на площади  $0,21 \text{ км}^2$  (20,3%). Увеличенная по сравнению с фоном обводненность и заболачивание и повышенный риск развития термокарста наблюдались на площади  $0,17 \text{ км}^2$  (16,3%). Риск термоэрозии и криогенного оползания был повышен за счет техногенных нарушений на площади  $0,05 \text{ км}^2$  (4,8%).

Площадь техногенных объектов, к которым относился только законсервированный карьер песчаного грунта, составляла  $0,1 \text{ км}^2$  (менее 0,5% всей площади участка). Плоские дренированные поверхности карьера заняты пионерными травяно-злаковыми группировками, а увлажненные переуглубления – гидрофильными сообществами. Высокие валы практически полностью лишены растительного покрова. Часть переуглублений ( $1350 \text{ м}^2$ ) заполнена водой, активен термокарст. Благоприятными для образования мелких оползней были только граничащие с долиной р.Панзананаяха крутые борта валов, частично нетронутые при разработке.

## Заключение

Оценена фоновая относительно этапа возведения насыпи железной дороги и разработки карьеров ситуация

воздействия техногенных нарушений на ландшафты, и в частности, на растительный покров. Отмечено хорошее зарастание старых, не используемых коридоров движения на всех участках и восстановление сообществ, близких исходным, или их замещение более гидрофильным типом [Хомутов Хитун 2014]. Медленнее всего идет восстановление кустарничков и лишайников. Восстановление растительного покрова в современных колеях находится не далее инициальной стадии злаково-осоковых группировок.

Нарушенные проездами вездеходов ландшафты характеризуются разными начальными условиями восстановления компонентов ландшафта, либо дальнейшего, обусловленного техногенезом, развития экзогенных процессов. Более половины нарушенных поверхностей стабильно зарастают при условии отсутствия дальнейшего техногенного воздействия. Площадь техногенных искусственных объектов в пределах изучаемого участка как и их влияние на ландшафты в изучаемый момент времени незначительны.

### Литература

- Андреев В.Н. Изучения антропогенных воздействий на растительность Арктики и Субарктики // Изучение биогеоценозов тундры и лесотундры. – Л.: Наука, 1972, С. 43–49.
- Андрешкина Н.И. Состав растительных сообществ естественных и техногенно нарушенных экотопов на водоразделах Ямала: флористическое разнообразие // Экология. 2012. №1. С. 22–26.
- Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Под ред. Н.Г. Москаленко. – М.: ИКЗ СО РАН, 2006. 357 с.
- Дружинина О.А. Динамика растительности в районах освоения Крайнего Севера. // Сообщества Крайнего Севера и человек. Под ред. Чернова Ю.И. – М.: Наука, 1985, С. 205–231.
- Ишбирдин А.Р., Хусаинов А.Ф., Миркин Б.М. Техногенная сукцессионная система растительности месторождения «Медвежье» и управление восстановительными процессами. // Бюл. МОИП, отд. биол. Вып.1. 1999. С. 40–48.
- Козин В.В. Ландшафтные исследования в нефтегазоносных районах. – Тюмень, Изд-во Тюм. ун-та, 1984, 60 с.
- Мельников Е.С., Невечера В.Л., Шур Ю.Л. Инженерно-геокриологические процессы в северных районах Таз-Енисейского междуречья (Западная Сибирь) // Аэроландшафтная индикация антропогенных процессов. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1973, С. 33–38.
- Москаленко Н.Г. Особенности процесса восстановления растительного покрова на трассах линейных сооружений севера Западной Сибири. // Изв. ВГО, Вып.1, 1975, С. 62–67.
- Москаленко Н.Г. Изменение температуры пород и растительности под влиянием меняющегося климата и техногенеза в Надымском районе Западной Сибири // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII. №4. С. 18–23.
- Москаленко Н.Г. Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. №. С. 38–42.
- Московченко Д.В. Особенности многолетней динамики растительности Бованенковского месторождения (полуостров Ямал) // Вестник Тюменского Государственного Университета. №12. 2013. Экология. С. 57–66.
- Невечера В.Л., Москаленко Н.Г., Тагунова Л.Н. О возможности прогноза изменения инженерно-геокриологических условий в зависимости от характера развития природно-территориальных комплексов при строительстве на севере Западной Сибири // Методы геокриологических исследований. Вып. 98. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1975. С. 16–34.
- Павлов А.В. Теплофизика ландшафтов. – Новосибирск, Наука, 1979, 285 с.
- Ребристая О.В., Хитун О.В., Чернядьева И.В. Техногенные нарушения и естественное восстановление растительности в подзоне северных гипоарктических тундр полуострова Ямал. // Ботанический журнал. 1993. Т.78. №3. С. 122–135.
- Скорбилин Н.А. Временная изменчивость мощности деятельного слоя почвогрунтов Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Изд. РАН, Сибирское отд. – Тюмень, 1992, 22 с.
- Творогов В.А. Естественное зарастание нарушенных участков тундры в районе Ямбургского газоконденсатного месторождения (полуостров Тазовский). Ботанический журнал. 1988. Т.73. №11. С. 1577–1583.
- Тыртиков А.П. Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа. – М.: Наука, 1979, 115 с.
- Устинова Е.В. Картографический метод исследования участка полосы трассы газопровода Надым-Пунга // Криосфера Земли. 2007. Т. XI. №2. С. 27–31.
- Хомутов А.В., Хитун О.В. Динамика растительного покрова и глубины сезонного протаивания в типичной тундре Центрального Ямала при техногенном воздействии // Вестник Тюменского Государственного Университета. №4. 2014. Науки о Земле. С. 17–27.
- Chapin S.F. & Shaver G.R. 1981. Changes in soil properties and vegetation following disturbance of Alaskan Arctic tundra // J.Appl.Ecol. 18(2): 605-617.
- Jorgenson J.C., Ver Hoef J.M. & Jorgenson M.T. 2010. Long-term recovery patterns of arctic tundra after winter seismic exploration // Ecol. Appl. 20: 205-221.
- Leibman, M.O., Khomutov, A.V., Gubarkov, A.A., Mullanurov, D.R. & Dvornikov, Yu.A. 2015. The research station “Vaskiny Dachi”, Central Yamal, West Siberia, Russia – A review of 25 years of permafrost studies. Fennia 193(1): 3-30.
- Rikard W.E. & Brown J. 1974. Effects of vehicles on arctic tundra // Environmental Conservation 1: 55-62.

## Цифровая карта природных и техногенных геосистем Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения

С.Н.Чекрыгина

*ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии ВСЕГИНГЕО, Моск. обл.*

Д.С.Дроздов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

С.А.Лаухин

*Московский государственный строительный университет МГСУ, Москва*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень*

*Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе МГРИ-РГГРУ, Москва*

### Реферат

Для района Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения в масштабе 1:100 000 составлена цифровая карта природных геосистем (ландшафтная карта). На её основе составлены карты температуры многолетнемёрзлых пород. Инженерно-геологическая карта генерируется в автоматическом режиме на основании карты геосистем и базы криологических данных. В зависимости от моделируемого показателя информация обобщалась по геосистемам уровня ландшафтов, групп урочищ и типов урочищ.

**Ключевые слова:** ландшафтные карты, природные и техногенные геосистемы

### Digital Map of Natural and Technogenic Geosystems of Urengoy Oil-Gas Field

S.N.Chekrygina

*All-Russia Scientific and Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), Moscow, Russia*

D.S.Drozдов

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

S.A.Laukhin

*Moscow State Construction University, Moscow, Russia*

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia*

*Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia*

### Abstract

Digital map of natural geosystems (landscape map) was made in scale 1:100 000 for the territory of Urengoy oil-gas field. The permafrost temperatures map was generated automatically basing on landscape map. Engineering-geological map is also generated in automatically using the geosystem map and concerning cryological data. Depending on level of modeling the information was generalized for landscapes, stow (urochishche) groups and stow types.

**Key Words:** natural and technogenic geosystems. landscape map, derived engineering-geological maps.

### Введение

Для района Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) в масштабе 1:100 000 составлена цифровая карта природных геосистем (ландшафтная карта) и частично – существующей техногенной нагрузки. На основе ландшафтной карты составлена геокриологическая карта территории в традиционном 2-листном исполнении и серия карт температуры многолетнемёрзлых пород территории месторождения: на время окончания съемки 1972-77 гг., на 1997 г. – данным повторной съемки 1992-94 гг. и материалам режимных наблюдений, на начало 2010-х гг. – по материалам режимных наблюдений.

Вмешательство человека в природную среду региона в среднем масштабе (1:100 000) можно отобразить по-разному. Наиболее читаемая форма – наложение объектов инфраструктуры и зон их влияния на карты природных объектов (например, карты геосистем) с пояснениями, как те или иные технические объекты взаимодействуют с природными. Однако при большой техногенной нагрузке объекты техногенеза и зоны их влияния накладываются друг на друга, оказывая совместное влияние, как взаимоусиливающее, так и разнонаправленное. В этом случае приходится говорить о формировании природно-техногенных геосистем, обладающих как естественными, так и измененными морфологией, покровами, геологической средой и её



свойствами. Чтобы вычленить раздельное влияние техногенных факторов необходимо переходить к более крупному масштабу отображения обстановки (1:25 000...1:5000).

### Геосистемный подход и накопление геокриологической информации

Геокриологические исследования, картирование и мониторинг северных территорий, подверженных влиянию изменений климата и интенсивнейшему техногенезу, целесообразно осуществлять с помощью глобальных, регионарных, локальных, пообъектных ГИС. ГИС-технология, использующая цифровые карты территорий и акваторий с соответствующими компьютерными базами данных по геоморфологии, ландшафтам, литологии, свойствах почвы, геокриологическим условиям, батиметрии и т.д., является одним из самых эффективных способов для накопления имеющиеся данные и для оценки окружающей среды [Мельников Минкин 1998]. Многовариантное обобщение информации из баз данных и составление и пересоставление тематических цифровых карт дают возможность отразить сегодняшнее состояние, тенденции, и динамику процессов в криолитозоне [Дроздов 2004].

Ландшафтный (геосистемный) подход к помогает перейти от низкого иерархического уровня обобщения данных к высокому и наоборот. Это важно, с одной стороны, для сбора и обобщения первичных данных и составления общих карт, а с другой стороны – для учета регионарных закономерностей на крупномасштабных картах. Применительно к отображению техногенеза такой переход позволяет установить масштаб, необходимый для характеристики техногенной составляющей геокриологических условий в регионе или на объекте.

Таким образом, карта и геосистем отображает современные свойства окружающей среды, а оверлей карты природных геосистем, карты техногенной нагрузки (или техногенных геосистем) и климатической карты в идеале должен позволять произвести пространственный геокриологический прогноз как частный элемент общего прогноза окружающей среды. Наличие спектра климатических прогнозов и вариативность проектирования предполагают многовариантное пересоставление как мониторинговых геокриологических карт, так и карт на различные сроки прогноза.

### Среднемасштабный покомпонентный мониторинг

Цифровая карта природных геосистем Уренгойского месторождения, стыкованная с пополняемой компьютерной базой данных геокриологических съёмки и режимных наблюдений позволила составить серию из 3-х мониторинговых карт температуры ММП на глубине нулевых сезонных амплитуд. Первая пара компьютерных мониторинговых карт отвечает двум датам – 1977 и 1997 гг. Это две карты температур многолетнемерзлых пород, визуальное сравнение которых наглядно отображает

закономерности природного изменения температурного поля в пределах Уренгойской площади за 20 лет, составившее от +1 до +2°C, иногда больше. Зафиксированное режимными наблюдениями повышение температуры грунтов в 2000 годы шло значительно медленнее и в структуре температурной карты практически не выразилось, т.к. изменения оказались внутри картировочных интервалов.

Однако произошло качественное изменение: в южной лесотундре при постоянной среднегодовой температуре грунтов около 0°C тепловой поток в грунт реализовался в виде массового опускания кровли мерзлоты на несколько метров. В северной лесотундре процесс не столь активен, но продвижение на север до 40 км предтундровых редколесий маркирует места, где он вскоре видимо начнётся (рис.1).

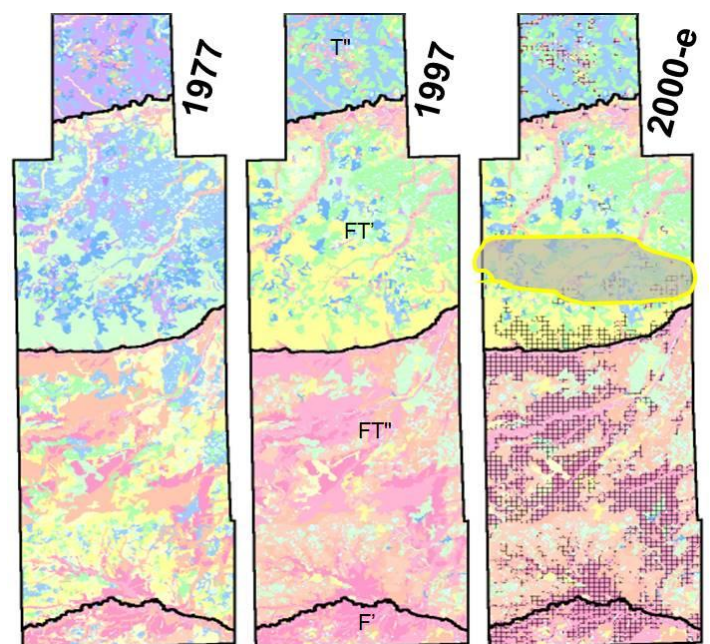


Рис.1. Образование надмерзлотных таликов на рубеже XX - XXI вв. в лесотундре на севере Западной Сибири  
Надмерзлотные талики (черная штриховка). Область продвижения к северу предтундровых редколесий и потенциального появления участков опускающейся кровли ММП (серый контур)

Поскольку обустройство газовых промыслов создает колоссальную нагрузку на окружающую среду, ведущую в северных районах к активным изменениям, по всей протяженности Уренгойского НГКМ произошла трансформация природных ландшафтов и формирование различных комплексов техногенных отложений: техногенно-измененных, техногенно-переотложенных, техногенно-образованных и техногенно-обусловленных грунтов. Последние возникают под воздействием инициированных человеком природных процессов.

При среднемасштабном (1:100 000 ... 1:200 000) картировании все многообразие техногенеза можно свести к нескольким крупным парагенетическим техногенным ассоциациям нелитифицированных горных пород различных классов и типов. Формирование каждой

из выделенных парагенетических ассоциаций техногенных пород связано с функционированием одного или нескольких источников техногенеза, вносящих изменения в геологическую среду. Всего выделено 7 основных комплексов техногенных отложений, соответствующих "группам" в иерархии таксонов техногенных пород.

При картировании в более крупном масштабе могут быть оконтурены небольшие по площади техногенные образования, связанные с точечными и линейными инженерными объектами. Их многообразие велико. Будучи наложенным на крупномасштабную ландшафтную карту многообразие этих изменений еще больше увеличивается (однотипные изменения на разных природно-техногенных комплексах). Изменения разного рода накладываются друг на друга и на разнотипные ландшафты, что дополнительно умножает варианты техногенеза.

Примером может служить карта м-ба 1:25 000 природных и техногенных геосистем окрестностей одного из наиболее рационально обустроенных участков Уренгойского месторождения. Всего здесь насчитывается 75 разновидностей нарушений, причем суммарная

площадь, затронутая линейным техногенезом (дороги, трубопроводы и зоны их влияния) ~ 5,5%, а площадным (сооружения, карьеры) ~ 1,5% (рис.1, табл.1).

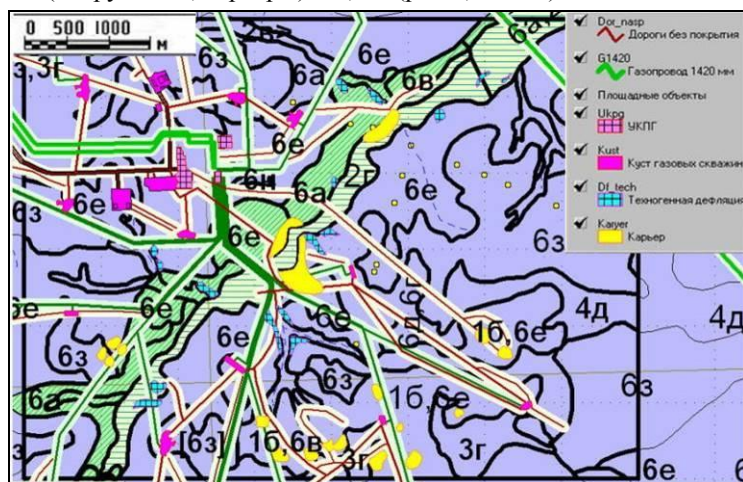


Рис.1. Карта ландшафтов, техногенной нагрузки и зон техногенного влияния в районе газосборного пункта УКПГ-12 Уренгойского месторождения (ландшафтные индексы см. в табл.1)

Таблица. Нарушенность территории, прилегающей к УКПГ-12 Уренгойского НГКМ всеми видами техногенеза.

Тип урочища или комплекс урочищ, индексы урочищ по региональной типизации	Площадь типа урочища, км <sup>2</sup>	Линейные нарушения, % территории		Площадные нарушения, % территории		Сумма нарушений, %
		дорогами	трубопроводами	отсыпками	карьерами	
<i>Поймы, СЛТ:0а:А</i>						
Долины не расчленённые, 2г	2,00	0,96	1,53	–	3,99	<b>6,48</b>
Тундры на песках, 6а, 6б	0,79	2,55	1,03	–	0,00	<b>3,58</b>
<i>III аллювиальная терраса, приречные местности, СЛТ:IIIа:В</i>						
Лога, 2в	0,24	1,27	0,60	–	0,38	<b>2,25</b>
Болота комплексные, 3г	0,16	–	5,75	–	7,78	<b>13,53</b>
Тундры с раздувами, 6а	2,16	2,19	1,26	–	1,22	<b>4,67</b>
Тундры на песках, 6в	0,27	7,17	–	–	–	<b>7,17</b>
Тундры на суглинках, 6е	1,08	3,85	9,92	–	5,19	<b>18,96</b>
<i>IV морская равнина, водораздельные волнистые местности, СЛТ:IVм:Е</i>						
Лес и тундра на песках, 1б, 6в	3,61	4,84	1,42	0,48	6,01	<b>12,75</b>
Лес и тундра на песках и суглинках, 1б,6е	1,04	5,05	–	–	5,20	<b>10,25</b>
Лога, 2в	1,40	1,77	1,33	–	–	<b>3,10</b>
Болота, 3б	1,02	9,10	0,67	–	–	<b>9,77</b>
Болота комплексные, 3г	1,46	6,51	–	0,53	0,12	<b>7,16</b>
Полигональные торфяники, 4д	1,40	2,03	–	–	–	<b>2,03</b>
Тундры с раздувами, 6а	0,98	1,03	0,95	0,005	–	<b>1,98</b>
Тундры на песках, 6в, 6г, в т.ч. бугристые 6д	0,80	7,85	0,66	–	–	<b>8,510</b>
Тундры на суглинках, 6е	15,54	3,88	2,75	2,05	0,88	<b>9,56</b>
Тундры на суглинках заболоченные, 6з	11,69	2,19	1,96	1,16	0,69	<b>6,00</b>
Тундры на суглинках сильно заболоченные, 6з, 3г	2,74	6,16	2,43	2,65	–	<b>11,24</b>
Ивняковые склоны на суглинках, 6н	0,12	3,43	8,33	–	–	<b>11,76</b>
<b>Всего:</b>	<b>48,47</b>	<b>3,56</b>	<b>2,15</b>	<b>1,19</b>	<b>0,45</b>	<b>7,35</b>

Техногенные объекты оказывают свое влияние на фоне природного повышения температуры ММП. В некоторых случаях оно весьма существенно. В непосредственной близости от сооружений температура пород повышается на 1...2°С и более относительно фона, достигая

+0,2...+0,5°С на лесных и –0,3...–0,8°С на тундровых участках). Заметное повышение температуры пород отмечается в карьерах, у обваловок газопровода, в приграничных частях отсыпок на кустах газодобывающих скважин, т.е. там, где существуют



благоприятные условия для снегонакопления. Температура многолетнемёрзлых пород варьирует в этих условиях от  $-0,3^{\circ}\text{C}$  до  $-2,6^{\circ}\text{C}$ .

Мало отличаются от фоновых температуры многолетнемёрзлых пород в пределах отсыпок дорог и площадок на кустах эксплуатационных скважин. На насыпях, проложенных через болота и ровные тундровые участки, температура практически равна фоновой. Наиболее повышенная температура отмечается на участках переходов через лога ( $-1,1^{\circ}\text{C}$ ) и в пределах бугристых тундр ( $-1,1...-1,8^{\circ}\text{C}$ ).

Помимо изменений температуры многолетнемёрзлых пород вблизи инженерных объектов в результате хозяйственной деятельности на территории Уренгойского месторождения произошла также активизация ряда экзогенных процессов как криогенного, так и некриогенного ряда: дефляции, эрозии и термоэрозии, термокарста, заболачивания и подтопления. Основные причины активизации – нарушение естественных покровов, изменение рельефа, нарушение стока поверхностных и грунтовых вод.

Наибольшее развитие на осваиваемой площади получила дефляция. Большинство современных песчаных раздувов приурочено к карьерам, дорогам и кустам скважин. Их размеры 0,1-6 км. Второе место по интенсивности занимают техногенное заболачивание и затопление. Дорожные насыпи и обваловки трубопроводов перехватывают поверхностный и грунтовый сток даже в незначительных, морфологически практически невыраженных понижениях, приводя к образованию болот и узких вытянутых озёр.

Нарушение теплообмена при снятии почвенно-растительного покрова активизирует термокарст. Широко развиты две его формы: (а) термокарстовые западины, озёрки; (б) "четкообразный дренаж" (термокарст по руслу ручья). Очагами активизации являются вездеходные колеи, зимники, опоры ЛЭП, траншеи и т.д.

Резкая активизация эрозии связана с прокладкой дорог, зимников, трубопроводов, а также с эксплуатацией карьеров. Появляется она преимущественно в возникновении и очень быстром росте молодых оврагов в прирочных частях террас и в бортах долин малых рек за счет сосредоточения поверхностного стока. Если поверхностный сток концентрируется в пределах полигональных торфяников, то эрозионный процесс дополняется термоэрозией.

### Заключение

Лист инженерно-геологической карты генерируется в автоматическом режиме на основании описанной выше карты геосистем и базы криологических данных. В зависимости от моделируемого показателя информация обобщалась по геосистемам уровня ландшафтов, групп урочищ и типов урочищ. Геосистемы ранга местностей не рассматривались. Таким образом, лист инженерно-геологической карты представляет уже:

- стратиграфо-генетические комплексы (согласно «Типовым условным обозначениям...» [1986]) в границах ландшафтов с указанием подстилания в границах групп урочищ;
- литолого-фациальные комплексы (по схеме, соответствующей «Методическому руководству...» [1978]) в границах групп урочищ;
- комплексы техногенных отложений, связанные с крупными хозяйственными объектами, в границах техногенных ландшафтов и контуров крупных хозяйственных объектов;
- экзогенные процессы и явления (в границах урочищ) как криогенного, так и некриогенного происхождения буквенными индексами без указания интенсивности и пораженности в связи с отсутствием соответствующих данных;
- характеристика глубины залегания и агрессивности подземных вод.

Геокриологический лист карты отображает мерзлотные характеристики в границах урочищ:

- сплошность распространения ММП в интервале глубин 0-10 м (0-15 м);
- температура пород с привязкой к картировочным интервалам;
- льдистость пород в градациях: малая, средняя, высокая, особо высокая – и с разделением на интервалы глубин 0-5 м и 5-10 м (более 5 м)

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке Фундаментальных программ VIII.75.1 и VIII.77.2, интеграционных проектов СО РАН – ДВО РАН № 9 и СО РАН № 144, ОНЗ РАН № 12, госзаданий Минобрнауки № 9093 и № 1082, грантов Президента РФ НШ-5582.2012.5, РФФИ-РГО-13-05-41509 РГО, РФФИ 13-05-00811, 13-08-91001-АНФ-а, 14-05-00956, 15-55-71004\15, международных программ TSP, LCLUC, CALM, GTN-P, SWIPA, Администрации ЯНАО.

### Литература

- Дроздов Д.С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: автореф. дисс. ... д.г.-м.н. – Тюмень, 2004. – 49 с.
- Мельников Е.С., Минкин М.А. О стратегии разработки электронных геоинформационных систем (ГИС) и баз данных в геокриологии – Криосфера земли, 1998, т. II, № 3, с. 70-76.
- Методические рекомендации по инженерно-геокриологической съемке (север Западной Сибири). / Под ред. Е.С.Мельникова. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1977. – 104 с.
- Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 (1:100 000 – 1:500 000)/ Под ред. Е.С.Мельникова. – М.: Недра, 1978. - 391 с.
- Типовые условные обозначения для карт разного геологического содержания. Карта четвертичных отложений: Издание второе переработанное и дополненное. – Л.: ВСЕГЕИ, 1986. – 15 с.

## Пространственная структура водного аэрозоля в атмосфере

А.В.Шавлов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*  
И.В.Соколов, В.А.Джуманджи  
*Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

Получены фото- и видеоизображения частиц снега во время снегопада в естественных природных условиях и капель воды в лабораторном тумане. Определены координаты и построены парные корреляционные функции частиц. Обнаружены признаки пространственного упорядочения частиц снега и капель воды. Носителями структуры являются цепочки, сетки частиц с фиксированным межчастичным расстоянием. Установлена зависимость расстояния между частицами в цепочках от радиуса частиц.

**Ключевые слова:** Аэрозоль; Вода; Капельная цепочка; Снег; Туман.

### Spatial Structure of Water Aerosol in Atmosphere

A.V.Shavlov

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*  
I.V.Sokolov, V.A.Dzhumandzhi  
*Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Photo and video images of particles of snow during snowfall in a natural environment and a water drop in laboratory fog are received. Coordinates are determined and pair correlation functions of particles are constructed. Signs of spatial structural streamlining of particles of snow and drops of water are found. Carriers of structure are chains, grids of particles with the fixed interpartial distance. Dependence of distance between particles in chains from the radius of particles is established.

**Key Words:** Aerosol; Drop chain; Fog; Snow; Water.

### Введение

Лед и вода в атмосфере в виде аэрозолей, тумана и облаков влияют на тепловой баланс, циркуляцию воздушных масс и определяют погоду и климат на планете. До недавних пор считалось, что такое влияние связано в основном с изменением агрегатного состояния воды и сопутствующим выделением или поглощением теплоты. Но в последние годы в литературе появились сообщения о способности заряженных капель воды образовывать в лабораторных условиях однослойную капельную структуру – капельный кластер [Федорец 2004, Shavlov et al. 2011]. Кластер спонтанно возникает над поверхностью подогретой воды. Капли в нем гексагонально упорядочены. Диаметр капель, межкапельное расстояние и высота левитации капель над водной поверхностью сравнимы по величине и составляют несколько десятков микрон. В [Shavlov et al. 2012] было установлено, что капельный кластер при малых скоростях сдвига может обладать вязкостью в десятки – сотни раз превышающей вязкость чистого воздуха. В [Shavlov, Dzhumandzhi 2010, Shavlov et al. 2011, Shavlov et al. 2012] было выдвинуто и численно обосновано предположение о том, что в атмосферных облаках и туманах также могут существовать

упорядоченные капельные структуры, подобные капельным кластерам. Эти структуры могут увеличивать вязкость среды, контролировать в ней конвекцию и оказывать влияние на скорость переноса тепла и массы. Прямое экспериментальное подтверждение существования капельного упорядочения в облаках и туманах до сих пор не было получено.

В настоящей работе впервые обнаружены признаки упорядочения частиц снега во время снегопада в естественных природных условиях и капель воды в лабораторном тумане. Для этого регистрировали фото- и видеоизображения частиц, определяли их координаты, вычисляли парные корреляционные функции и делали выводы о степени упорядочения.

### Экспериментальные методики

Экспериментальные методики опишем, начиная с методики получения и видеорегистрации капель лабораторного тумана. Именно эти исследования носили детальный характер, данные легко воспроизводились и имели высокую статистическую значимость. Затем кратко изложим методику фоторегистрации частиц снега во время снегопада.

Опыты с туманом выполняли при стандартном атмосферном давлении и температуре тумана 9...90°C.



Туман получали из дистиллированной воды с помощью ультразвукового ингалятора Вулкан-1 ТУ 1-720-0025-91. Диаметр капель тумана составлял несколько микрон. Ингалятор был снабжен регулятором мощности и подогревателем исходной воды. С помощью пластиковой трубки туман дозированно подавали сверху в измерительную стеклянную кювету высотой 50 и диаметром 20 мм. Течение тумана в кювете успокаивалось через 3-5 с после прекращения его подачи. В результате, туман представлял собой спокойную полупрозрачную среду, в которой капли воды опускались на дно кюветы со скоростью около 1 мм/с под действием силы тяжести. Температуру тумана определяли на выходе пластиковой трубки с помощью термометра с погрешностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Капли тумана наблюдали в горизонтальной плоскости с помощью микроскопа МБС-1, имеющего рабочее расстояние 65 мм. Микроскоп фокусировали на области пространства, расположенной в центре кюветы. Эффективную глубину резкости микроскопа определяли опытным путем, вертикально перемещая осажденную на стекло каплю тумана в предметной области микроскопа и фиксируя ее положение с помощью микрометра с ценой деления 1 мкм. Глубина резкости составила  $250 \pm 10$  мкм. Туман подсвечивали снизу с помощью светодиода. Видеоизображения регистрировали цифровой камерой MUSE 310 M с частотой кадров  $30 \text{ с}^{-1}$ . Относительная погрешность измерения интервалов времени составляла  $\pm 1.7 \cdot 10^{-2}$  с. Абсолютная погрешность определения размеров и координат по видеоизображениям равнялась  $\pm 0.5 \text{ пикс} = \pm 1.1 \text{ мкм}$ .

Частицы снега во время снегопада регистрировали следующим образом. Съемку выполняли камерой «Никон» в темное время суток. Для подсветки частиц использовали импульсный щелевой источник света, выполненный на основе лампы вспышки ИФК-120. Щель располагали вертикально на расстоянии полуметра от источника. В результате получали почти плоский световой поток шириной 7-10 см. Направление наблюдения было перпендикулярным плоскости светового потока и горизонтальным по отношению к поверхности земли. Абсолютная погрешность определения размеров и координат частиц по видеоизображениям составляла около 100 мкм.

### Результаты измерений

На врезке рис.1 представлено типичное видеоизображение каплей тумана при температуре 9 С. Капли имели средний радиус примерно 4.5 мкм. Количество капель на изображении составляет около 100. Концентрация капель равна  $0.8 \cdot 10^8 \text{ м}^{-2}$  или, в переводе на объемное значение,  $3 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$ .

Для выявления признаков пространственного упорядочения капель были построены средние парные корреляционные функции при различных температурах. Для этого, произвольно выбирали 10 видеоизображений из 300 последовательных кадров видеосъемки при фиксированной температуре. Для каждого видеоизображения определяли координаты капель и

вычисляли парную корреляционную функцию по формуле  $(dN/dr) \cdot r^{-2}$ , где  $N$  - число пар капель, попадающих в интервал межкапельных расстояний  $(r, r+dr)$  при  $dr=2$  мкм,  $r^{-2}$  - множитель, обеспечивающий затухание функции при больших  $r$ . Затем вычисляли среднеарифметическую (по 10 функциям) парную корреляционную функцию. Далее, полученную функцию трехкратно сглаживали путем вычисления плавающего среднего по трем точкам. На рис.1 представлен график средних парных корреляционных функций капель тумана при температурах 9 и 90 С, соответственно, кривые 2 и 3. Кривая 1 изображает среднюю парную корреляционную функцию гипотетической плоской структуры, образованной случайно расположенными частицами с концентрацией такой же, как на видеоизображении капель тумана,  $0.8 \cdot 10^8 \text{ м}^{-2}$ . Способ вычисления кривой 1 совпадает с таковым кривых 2, 3.

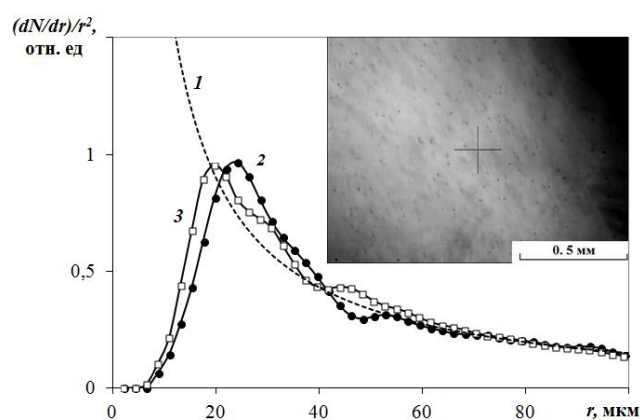


Рис. 1. Парные корреляционные функции: (1) – случайно расположенных на плоскости частиц, (2) и (3) – капель тумана при температурах 9 и 90 $^\circ\text{C}$ , соответственно, в предметной плоскости микроскопа. На врезке - видеоизображение капель тумана при температуре 9 С.

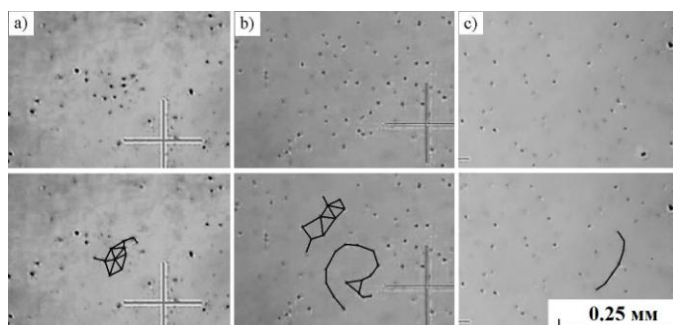


Рис. 2. Видеоизображения капель тумана (a), (b), (c) при температуре 30 $^\circ\text{C}$  и те же видеоизображения с прорисованными на них капельными структурами.

На рис.1 видно, что кривая 1 быстро возрастает при  $r \rightarrow 0$ , как и должно быть при случайном расположении частиц. Кривые 2, 3, имеют максимумы при межкапельном расстоянии  $r=20-30$  мкм, и равны нулю при  $r \rightarrow 0$ . Кривые 2, 3, также имеют слабые максимумы при удвоенном межкапельном расстоянии. Таким образом, кривые 2, 3, содержат признаки пространственного упорядочения капель воды в тумане.

Следует отметить, что положение максимума парной корреляционной функции от температуры зависит слабо. Это обусловлено техническими характеристиками ингалятора Вулкан-1, а также сепарацией капель по размеру в пластиковой трубке, подающей туман.

За максимумы парной корреляционной функции несут ответственность упорядоченные пространственные капельные структуры в тумане в виде извилистых капельных цепочек, сеток с примерно одинаковым межкапельным расстоянием. На рис.2 приведены примеры видеоизображений капель тумана при температуре 30 С и те же изображения с прорисованными на них капельными структурами. Покадровый анализ видеосъемки показал, что капельные структуры не разрушаются на протяжении всего времени их вертикального перемещения в пределах глубины резкости микроскопа, около 0.3-0.5 с. Реальное время существования данных цепочек, по-видимому, гораздо больше.

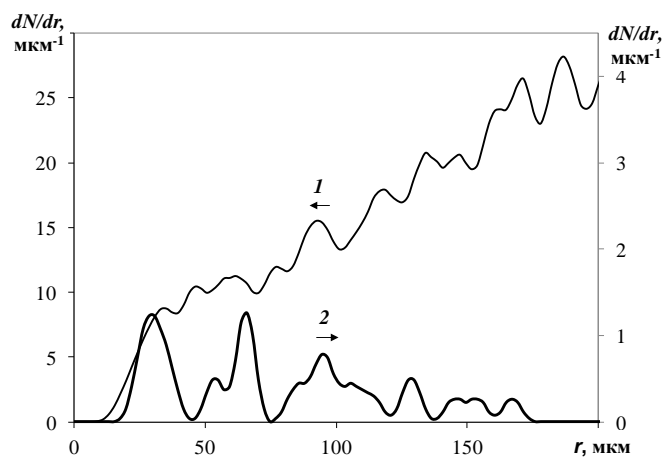


Рис. 3. Парные корреляционные функции капель тумана, изображенного на рис.2 (с): (1) – для всех капель (около 180 штук), (2) – для цепочки из 7 капель.

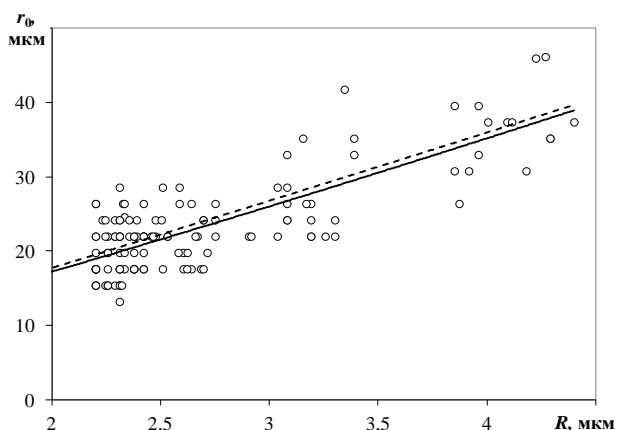


Рис. 4. Зависимость среднего межкапельного расстояния  $r_0$  от среднего радиуса капель  $R$  в капельных цепочках при температуре тумана 30°C. Сплошная кривая - линия тренда экспериментальных значений.

Еще лучше видны максимумы парной корреляционной функции и их связь с упорядоченными капельными структурами при анализе единичного видеоизображения. На рис.3 изображены парные функции единичного видеоизображения капель тумана (около 180 капель), фрагмент которого представлен на рис.2(с), и цепочки из 7 капель, изображенной на рис.2(с), соответственно, кривые 1 и 2. Эти функции вычисляли по формуле  $dN/dr$ , затем трехкратно сглаживали путем вычисления плавающего среднего по трем точкам. Корреляционные функции имеют выраженные максимумы первого и высоких порядков. Сравнивая кривые 1 и 2 рис.3, можно заметить корреляцию их максимумов. Таким образом, наличие цепочек, сеток из пространственно упорядоченных капель воды является важным структурным свойством тумана.

Расстояние между каплями в капельных цепочках зависит от радиуса капель. На рис.4 изображена зависимость среднего межкапельного расстояния  $r_0$  от среднего радиуса капель  $R$  в капельной цепочке при температуре 30 С. Количество точек на графике равно количеству обследованных капельных цепочек - 135 штук, содержащих от 4 до 22 капель каждая. Из рисунка видно, что межкапельное расстояние увеличивается с ростом радиуса капель. Линия тренда экспериментальных точек удовлетворительно описывается полиномом второй степени  $r_0=1.87 \cdot 10^5 R^2 + 7.87R$ , где радиус  $R$  измеряется в метрах (сплошная линия на рис.4).

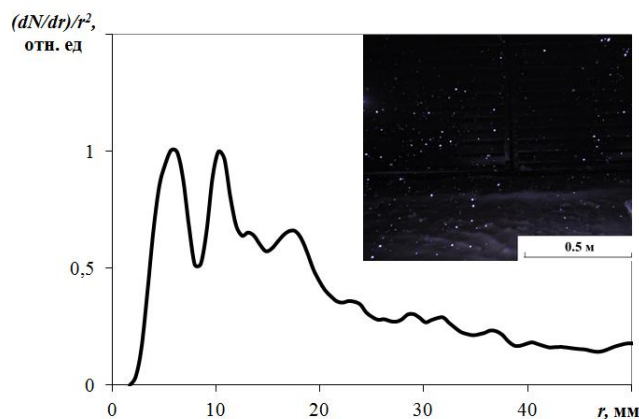


Рис. 5. Парная корреляционная функция частиц снега. На врезке – фотография частиц.

Частицы снега в снегопаде в природных условиях также обнаруживают признаки пространственного упорядочения. На рис.5 приведена парная корреляционная функция частиц снега для одной из десятков фотографий частиц, а на врезке к рисунку дан фрагмент типичной фотографии. Число снежных частиц на одной фотографии составляет около 300. Парную корреляционную функцию вычисляли по выше указанной формуле  $(dN/dr) \cdot r^2$ , затем ее трижды сглаживали путем вычисления плавающего среднего по трем точкам. На рисунке видно, что парная функция имеет максимумы первого и более высоких порядков, что

свидетельствует о наличии пространственного упорядочения. На фрагменте фотографии можно заметить, что носителями пространственной структуры снежного аэрозоля служат цепочки и сетки, образованные несоприкасающимися друг с другом частицами.

### Обсуждение результатов

Обсудим результаты, полученные для капель тумана. В работе [Shavlov et al. 2011] было показано, что способность капель образовывать плоские кластеры над нагретой поверхностью воды может быть связана с наличием у них электрического заряда и существованием электрического межкапельного взаимодействия. Электрический заряд непрерывно генерируется при испарении и конденсации воды на поверхности капель. Основными носителями заряда в воде служат протоны и гидроксид-ионы. Эти же частицы являются носителями заряда в паре: они поставляются в пар из воды при испарении капель. Одновременно заряженные капли могут притягиваться друг к другу благодаря скоплению в пространстве между ними корреляционного заряда противоположного знака [Shavlov Dzhumandzhi 2010, Shavlov et al. 2011]. При очень малом межкапельном расстоянии преобладающим становится отталкивание капель. В равновесном положении расстояние между поверхностями капель примерно равно удвоенному радиусу Дебая плазмы, заполняющей межкапельное пространство. При этом необходимо учитывать, что заряженные капли окружены прочными плазменными оболочками толщиной примерно равной радиусу Дебая, которые увеличивают эффективный капельный радиус. Заряд капли, окруженной плазменной оболочкой, имеет эффективное значение  $10^2-10^3$  в единицах элементарного заряда. Заряд пропорционален площади поверхности капли [Shavlov et al. 2011], а точнее, описывается полиномом второй степени  $z=P_2(R)\approx 5.9\cdot 10^{11}R^2+7.68\cdot 10^7R$  от истинного радиуса  $R$ , который в приведенной формуле измеряется в метрах [Shavlov et al. 2013].

В капельных цепочках тумана капли могут удерживаться с помощью электрических сил, подобно каплям плоского кластера. Подтвердим данное предположение с помощью численных оценок на основе экспериментальных результатов, изложенных выше. Выразим межкапельное расстояние  $r_0$  в цепочке в виде суммы радиусов  $R$  капель, толщин  $L$  плазменных оболочек и расстояния  $2L$  между каплями, где  $L = \sqrt{\varepsilon_0 k T / (e^2 N)}$  – радиус Дебая,  $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная,  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – абсолютная температура,  $e$  – заряд электрона,  $N$  – концентрация носителей заряда плазмы в межкапельном пространстве:

$$r_0 = (2R + 2L + 2L). \quad (1)$$

Из врезки в рис.1 следует, что расстояние между ближайшими каплями в свободном тумане многократно превышает радиус капель,  $r_0 \gg R$ . На этом основании можно заключить, что межкапельное расстояние должно определяться в основном значением дебаевского радиуса, в соответствии с (1):

$$r_0 \approx 4L. \quad (2)$$

Условие электронейтральности имеет вид:

$$N = z \cdot r_0^{-3}, \quad (3)$$

где  $r_0^{-3}$  – характерная концентрация капель в объеме, занятом цепочкой,  $z$  – эффективный заряд капли в единицах элементарного заряда. Подставим (3) в (2), получим:

$$r_0 = z \frac{e^2}{4^2 \varepsilon_0 k T}, \quad (4)$$

откуда следует, что межкапельное расстояние в цепочке пропорционально заряду или полиному второй степени от радиуса капли.

На рис.4 пунктирной линией изображена зависимость (4) при расстоянии между каплями  $r_0 = 2.5L$  вместо приближенного  $r_0 \approx 4L$ , согласно (2). Видно, что зависимость близка к линии тренда экспериментальных точек. Таким образом, получаем подтверждение гипотезы о равенстве межкапельного расстояния примерно двум радиусам Дебая и, следовательно, об электрическом характере взаимодействия капель в капельных цепочках тумана. Полагаем, что сказанное выше также справедливо и для частиц снега в снежном аэрозоле.

### Заключение

Резюмируем полученные результаты. В работе впервые обнаружены признаки пространственного упорядочения частиц снега и капель водяного тумана путем регистрации фото- и видеоизображений частиц и капель, построения и анализа парных корреляционных функций. Носителями порядка оказались цепочки, сетки из частиц, характеризующиеся фиксированным межчастичным расстоянием. Было установлено, что расстояние между частицами увеличивается с ростом их размеров. Полученные данные могут оказаться полезными при дальнейшем изучении процессов циркуляции атмосферы, ее конвективной неустойчивости, кинетики переноса тепла и массы.

### Литература

- Федорец А.А. 2004. Капельный кластер. // Письма в ЖЭТФ. Т.79. №8. С.457-459.
- Shavlov A.V., Dzhumandzhi A.V. 2010. Spatially ordered structures in storm clouds and fogs. Phys. Lett. A. V.374. P.2561-2565.
- Shavlov A.V., Dzhumandzhi V.A., Romanyuk S.N. 2011. Electrical properties of water drops inside the dropwise cluster. Phys. Lett. A. V.376. P.39-45.
- Shavlov A.V., Dzhumandzhi V.A., Romanyuk S.N. 2012. Frictional flow of dropwise cluster. Physica Scripta. V.86. P.055501.
- Shavlov A.V., Romanyuk S.N., Dzhumandzhi V.A. 2013. Effective charge and effective radius of water droplet in dropwise cluster. Physics of Plasmas. V.20. P.023703.

## Криоразнообразии и криогляциальные геосистемы – опыт изучения и анализ состояния в плане оценки и проявления древнего оледенения на севере Западной Сибири

В.С.Шейнкман

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень  
Тюменский государственный нефтегазовый университет ТюмГНГУ, Тюмень*

### Реферат

В работе, в аспекте криоразнообразия и развития криогляциальных геосистем, анализируется ход древнего оледенения на севере Западной Сибири, реконструируемого в хроноинтервале позднего плейстоцена и рассматриваемого в плане взаимоотношения и взаимодействия ледников и льдов криолитозоны. Опираясь на принцип экстраполяции, за основу берутся конкретные параметры современных нивально-гляциальных образований, и затем реконструируются ключевые характеристики оледенения, формирующегося в условиях криолитозоны. В итоге аргументируется невозможность формирования на севере Западной Сибири ледниковых щитов и нереальность отнесения к реликтам имеющихся в регионе пластовых залежей подземного льда.

**Ключевые слова:** криолитозона; криогляциальные геосистемы; криоразнообразие; оледенение; плейстоцен.

## Cryodiversity and Cryoglacial Geosystems – Experience of Study and Analysis of State in the Way of Assessment and Manifestation of the Ancient Glaciation in the North of Western Siberia

V.S.Sheinkman

*Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia  
Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia*

### Abstract

Development of ancient glaciation in the Northwestern Siberia, reconstructed within the Late Pleistocene Chrono-Interval, and considered in the way of interrelation and interaction of glaciers and permafrost ice, has been analyzed in this work in the light of cryodiversity and development of cryoglacial geosystems. Relying on the extrapolation principle, the concrete parameters of the modern nival-glacial formations have been taken as a basis, and then the key characteristics of the glaciation formed under conditions of permafrost have been reconstructed. As a result, impossibility to form ice sheets in the Northwestern Siberia has been argued, as well as unreality to attribute to their relics the bedded ground ice bodies, existed in the region.

**Key Words:** cryolithozone; cryoglacial geosystems; cryodiversity; glaciation; Pleistocene.

### Введение

Введенный авторами [Мельников и др. 2013] термин “криоразнообразие” быстро входит в научный лексикон. Фактически это понятие позволяет объединить совокупность порожденных холодом объектов и явлений, и по наличию у них неповторяющихся несходных элементов, каждый из которых несет свой объем информации, получить поле перекрестных данных. А это создает основу для объективной оценки состояния мерзлотно-гляциальной среды. Такой подход давно используется в смежных науках и вполне себя оправдал, как, например, в биологии, где успешно применяется термин “биоразнообразие” – просто в нашем случае во главу угла поставлено объединяющее все криогенные явления понятие “холод” – “криос” (от греческого “κρυος”), а в биологии это “жизнь” – “биос” (от греческого “βίος”).

Проявление криоразнообразия может быть оценено с разных позиций, и одним из важнейших, на наш взгляд, является направление по изучению взаимодействия

мерзлотных и нивально-гляциальных процессов, которое удобно рассматривать в рамках криогляциальных (сокращенно от “криолитогенно-гляциальных”) систем [Шейнкман Мельников, 2014; Sheinkman 2011]. Анализ обстановок с таких позиций позволяет разобраться в самых сложных ситуациях, в том числе в одном из самых спорных районов, в плане взаимоотношения оледенения и криолитозоны, как, например, – на севере Западной Сибири, где дебатф о характере ледников и их связи с мерзлыми толщами в ходе плейстоцена идут уже много лет. Рассмотрим эту проблему.

### История вопроса

Со времени путешествий О.Е. Коцебу, который, обследуя арктическое побережье в 1816 г., впервые объяснил, что увиденные им залежи подземного льда это результат погребенного и преобразованного в лед фирна [Коцебу 2011], прошло два столетия. Но дебаты о том, существовало ли вообще на севере Сибири площадное покрытие ее льдом, и что считать реликтом такого оледенения, идут до сих пор. Самой спорной является



территория Западной Сибири, поскольку на ее севере часто встречаются эрратические валуны и пластовые залежи подземного льда. Первые из них некоторые исследователи [Архипов 2000; Гросвальд 2004] считают мореной древних ледников, а вторые относят [Каплянская Тарноградский 1993; Соломатин 2013] к непосредственным реликтам покровного оледенения. Причем в обоих случаях все сводится к поиску аргументов в пользу традиционной альпийской модели оледенения, которая, как показали результаты многолетних исследований в различных районах России и за рубежом [Шейнкман 2010; Sheinkman 2011], в Сибири не работает.

### Отсутствие условий для развития покровного оледенения Западной Сибири

В Сибири взгляд на ход оледенения может быть только с позиций, учитывающих специфику его развития в области криолитозоны, с льдами которой у него проявляется тесная связь. Это определяет жесткую привязку каждого из этих элементов криоразнообразия к конкретным обстановкам и нереальность развития в иных условиях. Возьмем за точку отсчета современные ледники в горном обрамлении Западной Сибири

Снегонакопление на этих ледниках большей частью идет за счет сдувания снега с окружающих склонов, и фирновая линия лежит здесь более чем на 1 км ниже климатической снеговой линии. На западных склонах Урала количество осадков сегодня оценивается в предгорьях величиной 500 мм/год и 1000 мм/год (порой больше) вблизи водораздела. На восточных склонах осадков существенно меньше – 500–700 мм/год даже в самой высокой части гор, и аналогичная ситуация на востоке горного обрамления Западносибирской равнины, где ледники есть в горах Бырранга и на плато Путорана.

Только по этой причине все отмеченные ледники существуют и спускаются весьма низко – до отметок 700–800 м (рис. 1). Без ветрового перераспределения снега даже такие малые ледники в горном обрамлении Западносибирской равнины образоваться не смогли бы.

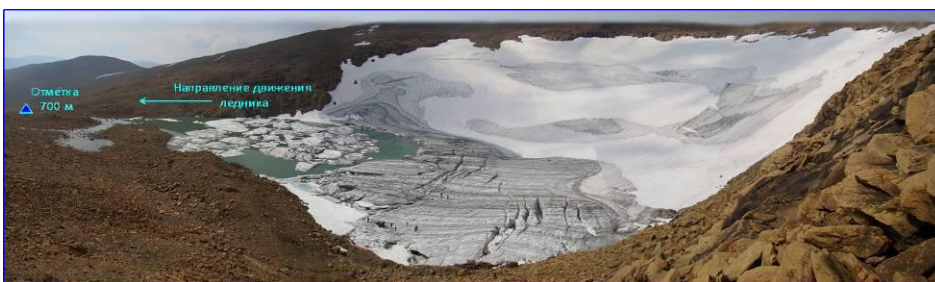


Рис. 1. Ледник Романтиков в массиве Рай-Из, Полярный Урал. Июль, 2012 г. Фото В.С. Шейнкмана.

Тогда как в квартере положение климатической снеговой границы в регионе лишь приближалось к уровню, имеющемуся сегодня на отмеченных ледниках, тем самым превращая их из аazonальных в зональные явления. Ибо депрессию этой границы для криохронов Сибири, учитывая падение температур в сильные

криохроны на 10–12°C, большинство авторов оценивает в 500–600 м (иногда увеличивая до 1000 м).

Поскольку все ледники в Сибири горные и холодные, движутся они медленно. Скорость смещаемых быстрее всего поверхностных слоев льда у крупнейших ледников Сибири составляет от 6–8 м в год (Северо-Восток Сибири) до 15–20 м в год (Алтай). Следовательно, при похолоданиях климата рассматриваемые ледники максимально могли продвигаться со скоростью 15–20 км за тысячелетие, т.е. они могли продвинуться за основное время криохрона типичного для квартера 20-тысячелетнего климатического цикла в лучшем случае на 150–200 км. Значит, в криохроны квартера ледники Таймыра должны были остановиться вблизи предгорий, не выходя на Западносибирскую равнину, а из ближе расположенных к ней и более высоких гор Урала и плато Путорана – достигать границы предгорий лишь при максимальном продвижении. Это подтверждается и нашими наблюдениями по изучению древних морен, и литературными данными [Большаинов и др. 2007; Mangerud et al. 2008; Шейнкман Плюснин 2014].

### Интерпретация эрратического материала на междуречье Оби и Енисея

Существует мнение о якобы широком распространении морен на всем севере Западносибирской равнины вплоть до среднего течения Оби [Архипов 2000; Гросвальд 2004], и главным индикатором их присутствия считается наличие на этой территории эрратического валунного материала. Однако это тот случай, когда одному генетическому типу явлений приписывается разное происхождение.

Исследования [Шейнкман Плюснин 2014] показали, что валуны имеют площадное распространение, встречаются вместе с галькой до правобережья Средней Оби, и лишь вкраплены в мощную толщу хорошо промытых, в основном песчаных отложений (рис. 2). Прорезая эти отложения, реки образуют террасы, в теле которых содержащий валуны слой фиксируется только вблизи дневной поверхности. Нередко он подстилается погребенной почвой по суглинкам – по ее материалу нами получена калиброванная  $^{14}\text{C}$ -датировка 25,7–27,7 тыс. лет от современности (СОАН 7550). Ниже по разрезу террас, высота которых доходит до 40 м, в песчаной толще валунов нет, но палеопочвы встречаются и имеют запредельный для  $^{14}\text{C}$ -датирования возраст. В то время как по детриту из песков над слоем с валунами есть калиброванная  $^{14}\text{C}$ -датировка 12,75–12,95 тыс. лет от современности (Le 8972).

Таким образом, отмеченные валуны нельзя считать мореной. Однако их разнос произошел, как показывает датирование, во время сартанского криохрона (МИС 2), когда ледники на севере Западной Сибири из ее горного обрамления спускались к предгорьям. Обширная морская

трансгрессии со стороны Арктики, с широким разносом обломков айсбергами, исключается, так как в это время приморская зона была освоена повторно-жильными льдами, что невозможно в ее субаквальной состоянии.

Обычен в Сибири линейный ледовый разнос валунов вдоль рек – в долине р. Томи у г. Томска, например, нередки валуны, перенесенные таким способом с Кузнецкого Алатау – на сотни километров. Однако в нашем случае валуны лежат на междуречье Оби и Енисея, и, согласно анализу проф. Парначева В.П., среди

них преобладают долериты с плато Путорана. Поэтому наиболее реален подмыв ледников в предгорьях при некотором ингрессивном подтоплении Енисея и во время паводков на нем, когда отдельные потоки воды могли бы перетекать через невысокие водоразделы на его левом берегу, перенося льдины с валунами. Тем более что на Енисее характерны мощные паводки с подъемом воды в нем в квартере порой на десятки метров [Yamskikh et al. 1999]. Это объясняет и значительное количество гальки вокруг валунов, и их вкрапленность в речные осадки.

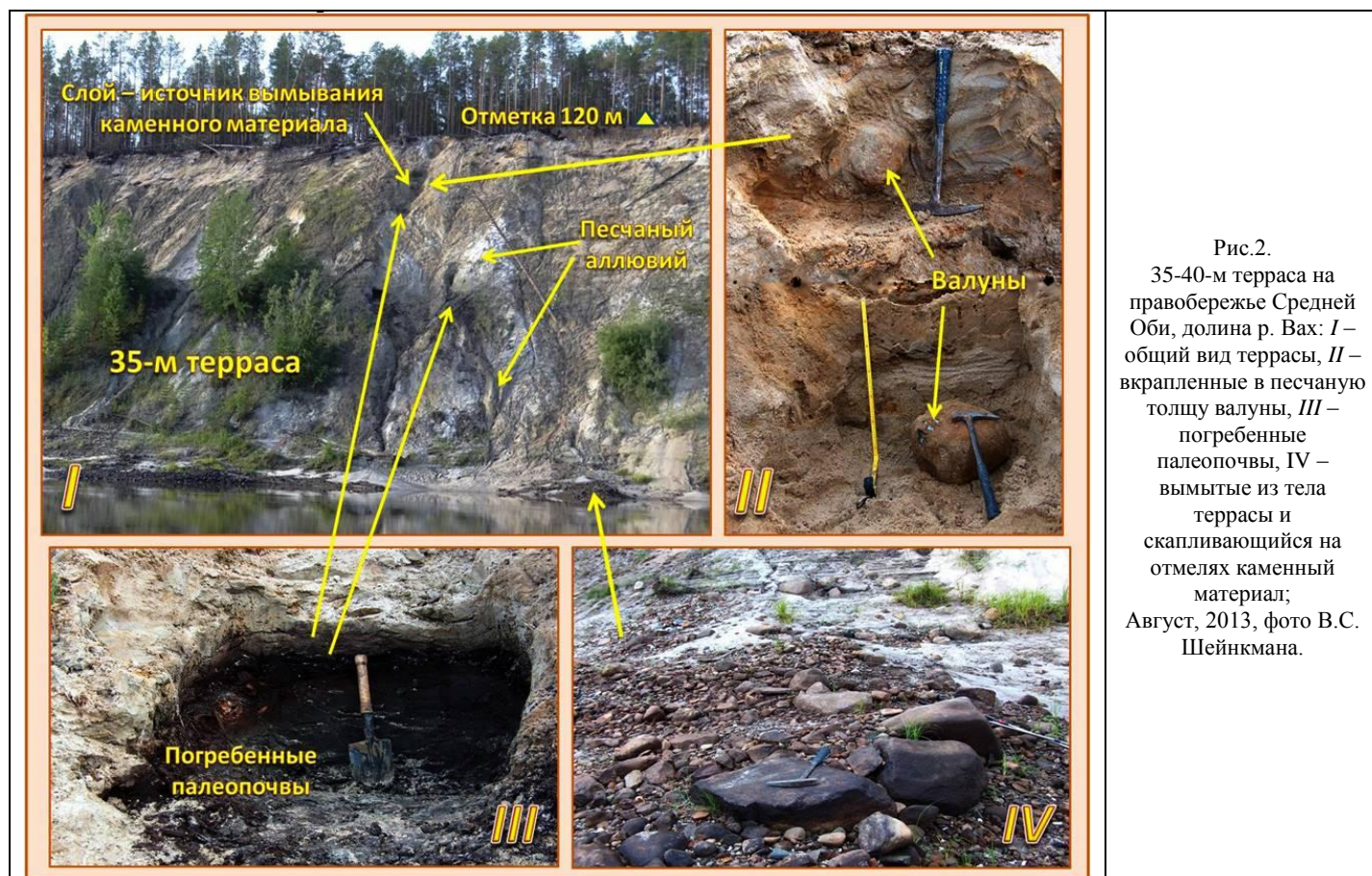


Рис.2.  
35-40-м терраса на правом берегу Средней Оби, долина р. Вах: I – общий вид террасы, II – вкрапленные в песчаную толщу валуны, III – погребенные палеопочвы, IV – вымытые из тела террасы и скапливающийся на отмелях каменный материал;  
Август, 2013, фото В.С. Шейнкмана.

### Отсутствие условий для захоронения на длительное время древних ледников

Материковых равнинных ледников сегодня нет – эта форма лишь предполагается как умозрительная модель для былых эпох сторонниками соответствующих гипотез. Все современные ледники (и долинные, и покровные) расположены в горной местности и текут по скальному ложу. В том числе в горном обрамлении Западной Сибири, где их следы исчезают за пределами предгорий.

В процессе геологической деятельности ледников в их придонной части образуется моренносодержащий лед, с которым связано формирование основной морены – главного элемента ледникового седиментогенеза. Но мощность этого льда невелика, и измеряется лишь метрами, причем объем морены в среднем составляет 25% от общего объема льда. Тот же порядок величин даже в Антарктиде [Серебряный и др., 1989]. Поскольку

в Сибири источники материала, питающие морену, повсеместно приурочены к горным районам (и сегодня и в квартере), в ней превалирует грубообломочная фация. Так что после отчленения омертвевших частей ледника даже в условиях криолитозоны их таяние не будет приводить к формированию брони, способной на геологически длительное время консервировать блоки льда большой мощности. Ибо материала морены будет в целом немного, и летом, поскольку он грубообломочный, сквозь него легко станет проникать тепло.

Теперь рассмотрим абляционную морену, которую сторонники захоронения ледников считают главным фактором. Другое ее название – морена вытаявания, и речь в данном случае идет о первично поверхностной и внутренней морене – материале, поступающем к поверхности ледника и в его толщу. Для образования таких морен необходим источник материала и активное его поступление на ледник. На покровных ледниках



таких источников мало, и их поверхность представляет собой практически чистый лед. Намного больше обломков содержит абляционная морена горных ледников. Один из них показан на рис. 3 – крупный, полностью находящийся в пределах криолитозоны, холодный ледник Большой Правый Актру на Алтае. Вблизи границы питания ледники здесь охлаждены до, примерно,  $-14^{\circ}\text{C}$ , на языке – до  $-4^{\circ}\text{C}$ , и со всех сторон окружены мерзлыми породами [Шейнкман 2010].



Рис. 3. Ледник Большой Правый Актру, Северо-Чуйский хребет Алтай; Июль 2011 г. Фото В.С. Шейнкмана

Реагируя на потепление климата, вызывающее усиление абляции, ледник отступает, и его языковая часть, как видим, бронирована почти полностью. Поступает обломочного материала много, так как его источник – большая поверхность склонов поднимающихся над ледовым телом на большую высоту. Перемещение обломков для покрытия ими значительной части ледника обеспечивает делювиально-коллювиальный механизм. Также составляющие ледник потоки льда соприкасаются своими боковыми моренами, образуя на поверхности льда широкие полосы срединной морены. Но даже при такой обеспеченности материалом чехол морены легко пропускает к ледовому телу летнее тепло, поскольку он грубообломочный, и тепло сквозь него свободно проникает с воздухом и талой водой. По свидетельствам очевидцев для полного вытаявания погребаемого льда здесь достаточно несколько десятилетий. Такая ситуация прослеживается даже в самых суровых мерзлотных условиях Сибири, так что реальная возможность для захоронения здесь ледников на геологически длительное время отсутствует. Поэтому причины наличия на севере Западной Сибири пластовых залежей подземного льда следует искать в механизме их внутригрунтового происхождения.

### Заключение

В Сибири уже реально ставить исследования на основе вскрытых закономерностей развития современных криогляциальных геосистем (по [Шейнкман, Мельников, 2014]). Это дает возможность, охватывая многие элементы криоразнообразия, проводить затем уверенную экстраполяцию данных для характеристики не наблюдаемых ныне объектов и событий. Учитывая, что любая прогностика окружающей среды основывается на установлении тренда, исходя из выявленных сценариев

прошлого, решение отмеченной задачи на такой основе весьма актуально, поскольку анализ состояния криоразнообразия, как представительного индикатора мерзлотно-гляциальной среды, позволяет детализировать реконструируемые события. Реально это, так как каждый из элементов криоразнообразия в рамках образуемых ими геосистем формируется при строго определенных законами их организации параметрах, и, поэтому, на перекрестии таких характеристик выявляются весьма информативные показатели окружающей среды.

### Литература

- Архипов С.А. Главные геологические события позднего плейстоцена (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 2000, т. 41, № 6, с. 792-799.
- Большакиев Д.Ю., Антонов О.М., Федоров Г.Б. и др. Оледенение плато Путорана во время последнего ледникового максимума // Изв. РГО, 2007. Том 139, вып. 4, с. 47–61.
- Гросвальд М.Г. Арктика в последний ледниковый максимум и в голоцене – океанские выбросы, материковые и морские льды, их движение и связь с климатом // М-лы гляциологических исследований, № 96, М., 2004, с. 47-54.
- Каплянская Ф.А., Тарноградский В.Д. Гляциальная геология. СПб, 1993, Недра, 328 с.
- Коцебу О.Е. Путешествия вокруг света. М.: Дрофа, 2011, 966 с.
- Мельников В.П., Геннадиев В.Б., Брушков А.В. Аспекты криософии: криоразнообразие в природе // Криосфера Земли. 2013, Том XVII, № 2, с. 3-11.
- Серебряный Л.Р., Орлов А.В., Соломина О.Н. Морены – источник гляциологической информации. М., Наука, 1989, 236 с.
- Соломатин В.И. Физика и география подземного оледенения. Новосибирск, Гео, 2013, 346 с.
- Шейнкман В.С. Оледенение гор Сибири: взаимодействие ледников и криогенных и льдов // Лед и снег, 2010, № 4, с. 101-110.
- Шейнкман В.С., Мельников В.П. Ледники Сибири как компонент криолито-гляциальных геосистем // Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, № 2, с. 3–23
- Шейнкман В.С., Плюснин В.М. Оледенение Западной Сибири в сибирской системе природных льдов // География и природные ресурсы, 2014, №3, с. 22-31.
- Yamskikh A.F., Yamskikh A.A., Brown, A.G., 1999. Siberian-type of the Quaternary Flood-Plain Sedimentation: the example of the Yenisei River // Fluvial Processes and Environmental Change. John Wiley and Sons, pp. 241-252
- Mangerud J., Gosseb J., Matiouchkov F., Dolvika T. Glaciers in the Polar Urals, Russia, were not much larger during the Last Global Glacial Maximum than today // Quatern. Science Reviews. 2008, № 27, pp. 1047–1057
- Sheinkman V. S. Quaternary Glaciations – Extent and chronology. Chapter: Glaciation in the High Mountains of Siberia. INQUA. Elsevier. 2011, pp. 883-907.

## Строительство на намывных грунтах в криолитозоне Якутии

Д.М.Шестернев, Р.В.Чжан, Г.П.Кузьмин  
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск

### Реферат

В работе рассмотрен опыт строительства на намывных грунтах в криолитозоне, охарактеризованы основные аспекты выбора принципа строительства, показано влияния намывных грунтов на изменения геокриологических условий застраиваемых территорий, на примере строительства в г. Якутске проанализированы особенности и перспективы использования намывных грунтов в качестве оснований зданий и сооружений. Для диагностики теплового и механического взаимодействия грунтов оснований и фундаментов сооружений предложено использовать комплексный инженерно-геокриологический мониторинг.

**Ключевые слова:** криолитозона; мониторинг; намывные грунты; строительство; эксплуатация; Якутск

## Construction on Hydraulic Fills in the Permafrost Region of Yakutia

D.M.Shesternev, R.V.Zhang, G.P.Kuzmin  
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

### Abstract

This paper reviews the experience with construction on hydraulic fills in permafrost regions and examines the main considerations in selecting a construction principle. Based on the case study of a development project in Yakutsk, the impact of hydraulically filled soils on geocryological conditions is examined and the prospects for the use of hydraulic fills as foundation materials are discussed. A comprehensive monitoring program is suggested to diagnose the thermal and mechanical interaction of foundations with supporting soils.

**Key words:** permafrost; monitoring; hydraulically filled soil; construction; maintenance; Yakutsk

### Введение

Начало урбанизации территории современного Якутска относится к 1642-1643 годам, в течение которых острог, заложенный Петром Бекетовым в 70 км на правом берегу ниже по течению р. Лены, был перенесен на территорию нынешнего Якутска. Новая территория острога была расположена на левом берегу р. Лены в среднем ее течении. К настоящему времени площадь города составляет более 122 кв. км, а численность населения более 300 тыс. чел. На территории города большое количество пойменных озер и стариц, наиболее крупными из которых являются: Сайсары, Тёплое, Талое, Хатынг-Юрях, Сергелях.

Центральная часть Якутска отделена от русла реки Лены широкой равниной, получившей название «Зелёный луг». Зелёный луг затопляется в половодье. Климат резко континентальный, с небольшим годовым количеством осадков. Зима в Якутске суровая, средняя температура января составляет около  $-40^{\circ}\text{C}$ . Температура, ниже  $-60^{\circ}\text{C}$  последний раз отмечалась 2 января 1951 года. Зима длится с октября по апрель включительно. Среднеголетняя температура воздуха за 50-60 лет повысилась с  $-10,3$  до  $-8,0^{\circ}\text{C}$ , годовая амплитуда температуры составляет  $102,8^{\circ}\text{C}$ .

На территории г. Якутска многолетнемерзлые грунты распространены повсеместно, а их мощность изменяется в пределах первых сотен метров, при значительной дифференциации температур. В пределах пойменных террас, сложенных песчаными и песчано-гравийными

отложениями мощностью до 30,0-40,0 м температура грунтов изменяется в пределах от  $-0,1$  до  $-0,2^{\circ}\text{C}$ , низких и высоких террас, сложенных песчано-глинистыми отложениями – может достигать  $-3,0^{\circ}\text{C}$  и ниже [Дорофеев Сыромятников 2013, Павлов 2008]

Катастрофические наводнения в г. Ленске и в г. Якутске стоили Республике Саха (Якутия) многомиллионных потерь. Чтобы не допустить этого в будущем, в прибрежных частях р. Лена были построены дамбы. Строительство дамб позволило не только избавиться от наводнений, но и решить задачу по предотвращению ежегодного затопления и заболачивания пойменной территории г. Якутска. Специалистами по строительству в Якутии В.М. Дыниным, В.М. Кротовым, В.Л. Полещуком, И.И. Пьянковым, Н.В. Сухановым и др. эта территория была включена в качестве одного из вариантов генерального развития г. Якутска. Анализ этого предложения, выполненный на стадии технико-экономического обоснования, показал, что развития г. Якутска за счет застройки прибрежной зоны р. Лены с использованием гидронамывных толщ грунтов технически возможно и экономически целесообразно [Роман 2008]

### Опыт строительства на намывных грунтах в криолитозоне

В России, начиная с 60-х годов прошлого столетия, строительство дорог, аэропортов и дамб в криолитозоне с использованием намывных грунтов осуществлялось в процессе развития Западно-Сибирского комплекса



добычи и транспортировки нефти и газа. Разработанная и используемая технология гидромеханизации в этом регионе в 1986 г. была удостоена Государственной премии СССР.

Архив публикаций по проблеме использования намывных грунтов для строительства промышленных и гражданских сооружений в криолитозоне содержит всего 10-15 работ, наиболее полной в фундаментальном и прикладном отношении является работа Л.Т. Роман с соавторами [Роман 2008]. Из этой работы следует, что история использования намывных грунтов для строительства зданий в г. Якутске, началась в середине 60-х годов прошлого столетия. В этот период мощность намывных грунтов не превышала 5-6 м. Чтобы усилить эффект теплового воздействия на сохранение грунтов в мерзлом состоянии использовалось проветриваемое подполье в сочетании с вентилируемыми каналами. Наконец, наиболее ярким примером использования новой технологии строительства, по мнению Л.Т. Роман и др. [Роман 2008], должен служить микрорайон 202 (МКР 202), возведение которого было осуществлено на намывных грунтах в 1980-1988 гг. в г. Якутске. Определяющий вклад в разработке технологии его строительства внесли сотрудники Якутского филиала Красноярского ПромСтройНИИпроекта В.Л. Полещук, Л.Т. Роман, А.Н. Цеева и др. На опытном полигоне ими были изучены закономерности формирования физико-механических свойств намывных и подстилающих грунтов, оттаивающих после намыва, разработана технология двухэтапного намыва грунтов. Для строительства и эксплуатации экспериментальных зданий, были опробованы три типа фундаментов: столбчатые, свайные и плитные – оболочки. Наиболее технологичными оказались сборные столбчатые фундаменты, принятые основными типами фундаментов, при строительстве МКР 202. Мощность намытого слоя песка составляла 6-11 м, глубина заложения фундамента 4,5 м. При проектировании и строительстве, учитывался имеющийся опыт строительства фундаментов в Якутске. Кроме того, был выполнен большой комплекс натурных и аналитических исследований, результаты которых стали основой выбора использования Принципу – I для строительства зданий в МКР 202 [Роман 2008].

Позже, выполненные исследования ИМЗ СО РАН показали, что в настоящее время на территории микрорайона отмечается повсеместное повышение отрицательных температуры, а грунты оснований до 10-15 м находятся в оттаявшем состоянии [Дорофеев Сыромятников 2013]. Причиной этому, ранее было принято считать, утечки из теплотехнических сетей. Нам представляется, что значительный вклад в этот процесс оказывают намывная толща песка, теплопроводность которой составляет всего 0,5 Вт/м·°С, а также дополнительное отопление массивов грунтов фильтрующимися в массив в весенне-летний период паводковых вод [Дорофеев Сыромятников 2013, Shesternev et al 2014]. Об этом свидетельствует и полученная нами закономерность изменений глубины залегания верхней границы многолетнемерзлых грунтов, в пределах намывных толщ различной мощности (рис. 1).

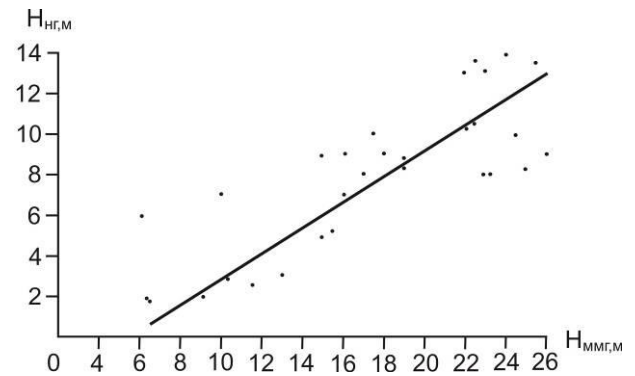


Рис. 1. Зависимость глубины залегания верхней границы многолетнемерзлых пород ( $H_{ММГ, м}$ ) от мощности намывных грунтов ( $H_{НГ, м}$ ) в 203 квартале г. Якутска.

В этом случае проветриваемые подполья не обеспечивают, предполагаемого поднятия нижней границы вечной мерзлоты в толщу намытых грунтов

Переход грунтов оснований из мерзлого в талое состояние, должен был стать причиной значительных деформаций зданий, но этого не произошло. Сборные столбчатые фундаменты (столбчатые фундаменты опираются на железобетонную плиту), в связи с перераспределения неравномерных деформаций основания плитой, обеспечивают техническую устойчивость зданий и сооружений. Таким образом, построенные здания по Принципу I, в настоящее время, в связи с деградацией вечной мерзлоты в их основании, эксплуатируются по Принципу II. В этом случае опыт строительства и функционирования зданий МКР 202 свидетельствует о необходимости дополнительного анализа условий строительства при наличии криолитозоны деградационного типа и, кроме того, необходимо еще раз оценить влияние мощности намывной толщи на температуру ниже залегающих горизонтов многолетнемерзлых грунтов, используемых в качестве оснований.

Ограничение глубины оттаивания при строительстве по Принципу II предусматривает использование различного рода теплоизолирующих мероприятий, а также стабилизацию верхней поверхности вечномерзлого грунта [СНиП 2.02.04 – 88 1990]. Используя этот подход в конце XX - начале XXI века, в прибрежной зоне р. Лена в г. Якутске уже построен комплекс многоэтажных зданий на намывных грунтах с использованием Принципа II (с допущением формирования чаши оттаивания на расчетную глубину). Это позволило использовать подвальные помещения, для оборудования автомобильных стоянок, что существенно увеличило комфортность проживания в них. К сожалению этот опыт не нашел должного внимания среди проектировщиков и строителей.

В настоящее время, учитывая опыт строительства МКР 202 и других инженерных объектов в г. Якутске, запланирована застройка нескольких кварталов повышенной комфортности, на намывных грунтах в пределах комплекса пойменных террас р. Лена. В связи с

этим обоснование выбора принципа строительства имеет важнейшее значение для дальнейшей урбанизации одного из участков г. Якутска.

### Обоснование выбора принципа строительства

Широко известно, фундаментальное положение о том, что возникновение и развитие криолитозоны возможно только при наличии необходимых и достаточных условий [Достовалов Кудрявцев 1967, Еришов 2002]. Необходимое условие выполняется, если среднегодовое значение температуры воздуха отрицательно, достаточное – среднегодовое значение температуры на подошве слоя сезонного оттаивания и промерзания также должна быть отрицательной.

В последние годы интерпретация динамики изменений температур воздуха во времени в некоторых работах существенно отличается не только в значениях, но и в направленности.

Известно, что среднегодовые температуры воздуха, структура и количество осадков в связи с глобальным изменением климата существенно изменились. Не является исключением и территория г. Якутска. В последние годы интерпретация динамики изменений температур воздуха во времени в некоторых работах существенно отличается не только в значениях, но и в направленности. Например, в монографии [Роман 2008] показано, что средние значения гармоник температур воздуха, примерно с 2000-2010 года, меняют свою направленность от положительного тренда к отрицательному. Откуда следует, что с этого времени начинается новая фаза похолодания климата.

Из работ Ю.Б. Скачкова и др. [2011], Л.Н. Хрусталева и др. [2011] следует, что повышение среднегодовых значений температур воздуха, будет продолжаться до 2060 года. В Якутске к этому времени среднегодовая температура воздуха достигнет значений  $-3...-4^{\circ}\text{C}$ . Такое повышение среднегодовых значений температуры воздуха не может не сказаться на строении и свойствах многолетнемерзлых грунтов в зоне годовых теплооборотов. Это отрицательно скажется на устойчивости зданий и сооружений.

Кроме того нами установлено, что незначительные мощности намывных грунтов практически не оказывают влияния на термическое состояние подстилающих массивов грунтов, а когда их мощность достигает больше мощности потенциального сезонного промерзания, они становятся теплоизоляторами.

В геологическом строении рассматриваемой территории участвуют юрские породы (пески и выветренные песчаники с прослоями алевролитов) и перекрывающая их толща четвертичного аллювия. Эта толща имеет мощность 18–30 м. Низы ее разреза представлены гравелистыми песками с галькой и мелкими валунами. Средняя часть того же разреза состоит большей частью из мелких и средних песков. Верх рассматриваемой толщи, большей частью в объеме деятельного слоя, представлен песком, суглинками и

супесями с прослоями мелкого, реже среднего песка. Температура грунтов юрских отложений на глубинах с 30 до 100 м колеблется от  $-0,2$  до  $-0,3^{\circ}\text{C}$ . Температура аллювиальных отложений перекрывающих коренные породы изменяется от  $-0,1$  до  $-0,2^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, рассматриваемая толща вечной мерзлоты относится практически к безградиентной, что свидетельствует о ее деградации.

Пойменная территория МКР 202 и ее окрестности, включая ныне застраиваемую территорию 203 квартала, характеризуются сложными геокриологическими условиями. Инженерно-геокриологические разрезы этой территории отличаются наличием в них мерзлых толщ сливающихся и не сливающихся типов с гидрогенными несквозными таликами. При этом свойства мерзлых грунтов циклически изменяются. Мощность таликов на ежегодно подтопляемой пойме составляет 4,2–9 м и более. Кроме того, многорукавное русло Городской протоки р. Лены и левобережная часть ее поймы – это зона образования глубоких гидрогенных несквозных таликов мощностью до 30 м.

Согласно результатам натурных наблюдений и моделирования на опытном полигоне, промерзание толщи намывных грунтов высотой 6-7 м может продолжаться более 20 лет [Павлов 2008]. Нам представляется, что при моделировании верхние граничные условия были заданы без учета дополнительных теплоисточников, а теплофизические характеристики намывной толщи были существенно завышены. Интегральное воздействие неучтенных факторов проявляется в сторону повышения, а не понижения температур грунтов, следовательно, на намывных толщах при их мощности более 8-10 м идет устойчивый процесс деградации криолитозоны.

Намывная территория квартала 203 в настоящее время представляет собой участок, где слой сезонного промерзания не сливается с верхней поверхностью вечномерзлого грунта, залегающей на глубине 20-23 м. В процессе намыва и последующего достаточно продолжительного периода времени без застройки территории (более 30 лет) произошло частичное оттаивание подстилающего многолетнемерзлого основания. Как показывают данные бурения в 2012-2013 гг., в МКР 202, в нижней части талого слоя с глубины 8-10 м залегают водоносные грунты, уровень подземных вод в которых в течение весенне-летнего времени весьма динамичен. Наряду с другими факторами это способствует дальнейшей деградации вечной мерзлоты [Достовалов Кудрявцев 1967, Еришов 2002, Дорофеев 2013]. В этих условиях при застройке квартала 203 может быть применен только Принцип II с применением фундаментов, воспринимающих и перераспределяющих усилия, вызванные возможной неравномерной осадкой основания. Причем плитный тип фундаментов, используемый при строительстве МКР-2, может быть использован и при строительстве 203 кв. Однако, если в первом случае он использовался в качестве «несущего слоя» для оборудования свай-стоек, и создания проветриваемого подполья, то во втором случае, его

использование позволит создать эксплуатируемые подземные автомобильные стоянки и(или) офисы и другие типы помещений. Группа таких зданий успешно эксплуатируются в МКР 202 уже более 15 лет.

Возвращаясь к результатам анализа применения Принципа II при строительстве малоэтажных зданий в г. Якутске, следует подчеркнуть, что большинство их находится в предаварийном состоянии. Следовательно, необходимо создавать новые, или применять уже существующие проверенные типы поверхностных фундаментов, в том числе и на намывных грунтах. К такому типу фундамента, можно отнести поверхностно проветриваемые, хорошо зарекомендовавшие себя при строительстве малоэтажных зданий в городах Норильске и Игарке [Гончаров 1988]. Этот тип фундамента, в зависимости от геокриологических условий, на наш взгляд, можно использовать при строительстве как по Принципу I, так и по Принципу II.

### Выводы

1. Проектные решения при строительстве новых кварталов на пойменных территориях р. Лена в г. Якутске и в других областях криолитозоны Сибири должны разрабатываться индивидуально, учитывать существующие геокриологические условия и кинетику их изменения в пространстве и во времени с учетом изменения климата и воздействия техногенной нагрузки.

2. Строительство на намывных грунтах мощностью меньше мощности потенциального сезонного промерзания грунтов при прочих равных условиях целесообразно использовать Принцип I, при большей мощности потенциального сезонного промерзания грунтов – Принцип II.

3. Основным типом фундаментов при строительстве на намывных грунтах, исходя из опыта строительства в г. Якутске, по-видимому, следует считать плитный фундамент

4. Для диагностики влияния экстенсивных факторов (стоков тепла от сооружений непосредственно в грунты оснований) и интенсивных факторов (изменение интенсивности теплообмена на территории квартала в связи с изменением значений составляющих радиационно-теплого баланса), также отепляющего воздействия паводковых вод на кинетику и механику геокриологической среды на территории 203

микрорайона необходимо использовать многоуровневый инженерно-геокриологический мониторинг.

5. Многоуровневый мониторинг должен быть частью проекта застройки на намывных грунтах на территории распространения вечной мерзлоты.

### Литература

- Гончаров Ю.М. Эффективные конструкции фундаментов на вечномёрзлых грунтах / Ю.М. Гончаров. – Новосибирск: Наука, 1988. – 129 с.
- Дорофеев И.В. Вековые изменения температуры многолетнемерзлых грунтов в Якутске / И.В. Дорофеев, И.И. Сыромятников И.И. // Вопросы географии Якутии. – 2013. – Вып.11. – С. 103-108
- Достовалов Б.Н. Общее мерзлотоведение/ Б.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев– М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1967. – 405 с.
- Ершов Э.Д. Общая геокриология/ Э.Д.Ершов – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2002. – 682 с.
- Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. – / А.В Павлов - Новосибирск: изд-во «Гео», 2008. – 229 с.
- Роман Л.Т. Строительство на намывных грунтах в криолитозоне / Л.Т. Роман, А.А. Цернант, В.Л. Полещук, А.Н. Цеева, Н.И. Леванов. – М.: 2008. - 323 с.
- Скачков Ю.Б. Изменение температуры грунтов слоя годовых теплооборотов на якутском теплобалансовом стационаре за последние сорок лет / Ю.Б. Скачков, П.Н. Скрябин, С.П. Варламов // Материалы IX Межд. симпозиума, 3-7 сентября 2011 г., Мирный. - Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. -С. 444-449.
- СНиП 2.02.04–88. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. - М.: Госстрой СССР, 1990.– 56 с.
- Хрусталева Л.Н. Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата / Л.Н. Хрусталева, С.Ю. Пармузин, Л.В. Емельянова. – М., 2011. – 260 с.
- Shesternev D.M., Zhang R.V., Kuzmin G.P., Shepelev V.V., Pavlova N.A., Popenco F.E. Industrial and residential construction on hydraulic fill in permafrost regions: problems and prospects/ Journal of Engineering of Heilongjiang University, Harbin, China. – 2014, Vol 5, № 3. – pp. 100-109



## Подземные льды как информация о развитии Российской Арктики в плейстоцене-голоцене

Н.А.Шполянская

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, nella@shpolyanskaya.msk.ru

### Реферат

На основании информации, содержащейся в подземных льдах, проведена реконструкция развития природы и криолитозоны Российской Арктики в плейстоцене-голоцене. Выявленные особенности этого развития сводятся к трем главным положениям. 1– покровные оледенения отсутствовали к востоку от п-ова Канин. В горах имело место горно-долинное или сетчатое оледенение. 2– Западный и Восточный секторы развивались в неодинаковых режимах: Западный – преимущественно в условиях морской трансгрессии и морского осадконакопления; Восточный – в континентальных условиях преимущественно озерно-аллювиального осадконакопления. 3– Развитие региона и динамика береговой линии Арктического бассейна происходили под преимущественным влиянием тектонических процессов в Северном Ледовитом Океане, неодинаковых в западной и восточной его частях. Влияния гляциоэвстатических процессов не прослеживается.

**Ключевые слова:** Пластовые льды; полигонально-жильные льды; Российская Арктика; субмаринная криолитозона,

## Underground Ices as the Information on Development of the Russian Arctic Regions in Pleistocene-Holocene

N.A.Shpolyanskaya

Lomonosov Moscow State University. Geographical faculty. Moscow. nella@shpolyanskaya.msk.ru

### Abstract

On the basis of the information containing in underground ices, reconstruction of development of Russian Arctic nature and cryolithozone in Pleistocene-Holocene is made. The revealed features of this development reduced to three main positions. 1–cover glaciation were absent to the east Kanin peninsula. In mountains took place the mountain-valley or the reticular glaciation. 2– West and East sectors developed in the different conditions: West – mainly in the conditions of sea transgression and marine sedimentation; East – in continental conditions mainly lacustrine-alluvial sedimentation. 3– Development of region and dynamics of a coastal line of the Arctic occurred under primary influence of tectonic processes at the Arctic Ocean, different in west and east its parts. Influences of glacial eustasy processes it is not revealed.

**Key Words:** Massive ice bed; polygonal-wedge ice; Russian Arctic; Submarine cryolithozone

### Введение

Подземные льды, особенно их крупные залежи, формируясь в определенных геологических и физико-географических условиях, приобретают индивидуальные черты, соответствующие этим условиям, и сохраняют их в своем строении и свойствах. Тем самым подземные льды являются «прямыми свидетелями» палеогеографических условий времени их образования. Поскольку время «жизни» подземным льдов соизмеримо с геологическим временем, информативность льдов для реконструкций весьма велика. Пространственные закономерности залегания льдов освещают историю развития соответствующих районов.

Главная черта в распространении льдов на Российском Севере – резкое различие между Западным и Восточным секторами Арктики (см. Карту). В восточном секторе почти целиком распространены полигонально-жильные льды, в западном секторе – пластовые льды. Генетически это принципиально разные образования, и отмеченное

различие указывает на неодинаковую историю развития двух частей Арктики.

### Основной фактический материал

#### Подземные залежные льды Западного сектора Арктики

На равнинах Западной Сибири и северо-востока Европейской России преобладают пластовые льды (см. карту). Это – неопределенной формы ледяные тела, мощностью десятки метров и сотни метров протяженностью. Залегают и близко к поверхности, и на большой глубине. Об их происхождении спорят. Одни относят их к захороненным остаткам покровных ледников и считают свидетелями древнего покровного оледенения. Другие признают их внутригрунтовыми образованиями, свидетельствующими об отсутствии покровного оледенения. Наши исследования показали, что пластовые льды разнородны и среди них имеют место и внутригрунтовые, и погребенные глетчерные льды. Выделено четыре генетических их типа: *изначально субмаринные, прибрежно-морские, инъекционные, и*



*погребенные наземные льды* [Шполянская, Стрелецкая, 2004]. Наиболее информативными для целей данного исследования являются первые два типа льдов. Они наиболее распространены, и залегают в отложениях почти всех эпох плейстоцена (кроме сартанской). Поэтому они, в отличие от других двух типов, освещают палеогеографию всего плейстоцена.

*Изначально субмаринные льды* (впервые выделены автором) названы так, потому что формировались непосредственно на дне моря. Они наиболее распространены, залегают в отложениях почти всех эпох плейстоцена (кроме сартанской), и тем самым освещают палеогеографию всего плейстоцена. Льды приурочены к дислоцированным морским отложениям, представлены ледогрунтовыми образованиями с сопряженным переслаиванием грунтовых и ледяных слоев очень сложной конфигурации. Высокая согласованность слоев, наблюдаемая при любой конфигурации, свидетельствует о субаквальном типе осадконакопления в достаточно глубоководных условиях моря при одновременном (сингенетическом) накоплении и промерзании донных осадков. Грунты засолены, тип засоления морской хлоридно-натриевый. Возможность субаквального льдообразования в Арктических морях была предложена автором ранее [Шполянская 1989, 2010]. Было установлено, что при глубинах моря от ~50 до 250 м создаются условия для промерзания донных осадков. По мере накопления осадков снизу вверх нарастает мерзлая льдистая толща сингенетического типа.

*Льды прибрежно-морского генезиса* (тоже выделенные автором) росли в краевых частях морского бассейна. Образуются в относительно мелководных условиях, и имеют мало дислоцированную текстуру. Встречены в отложениях всех эпох плейстоцена кроме сартанской.

*Льды субмаринного и прибрежно-морского генезиса* развиты только в морских отложениях. Наиболее часто встречаются в казанцевских слоях, а это значит, что они формировались в межледниковую эпоху, заведомо в отсутствие оледенения, и не являются остатками ледниковых покровов. Формировались в период морской трансгрессии. На западном Ямале, Ямальском и Приуральском побережьях Байдарацкой губы, на Таймыре в пределах Северо-Сибирской низменности они залегают и в отложениях зырянской ледниковой эпохи, и в перекрывающих их слоях каргинской межледниковой эпохи. Их присутствие указывает на сохранявшийся там в эти эпохи морской режим и на отсутствие ледникового покрова.

*Подземные льды на Западно-Арктическом шельфе* тоже широко распространены [Бондарев и др., 2001; Мельников, Спесивцев, 1995; Рокос и др., 2009]. Многие считают ее реликтовой. Однако наряду с реликтовой (при малых глубинах моря) на шельфе встречена и изначально субмаринная мерзлота в стадии роста (на глубоких участках моря, например, у Карских Ворот и на Русановской площади). Льды на Баренцево-Карском шельфе по своему строению и условиям залегания аналогичны пластовым льдам на равнинах. Однотипность пластовых льдов указывает на одинаковое развитие этих территорий. Равнины западного сектора Российской

Арктики являются морскими равнинами, в их отложениях зафиксированы процессы, протекавшие на древнем шельфе. Они являются аналогами современного Арктического шельфа. Так как субмаринные льды встречены в отложениях почти всех эпох плейстоцена, можно говорить, что большую часть этого периода, исключая сартанскую эпоху, север западного сектора Арктики развивался в трансгрессивном режиме. Из этого следует, что покровного оледенения на равнинах Западного сектора Арктики не было.

*Другие два типа льдов* встречаются в небольшом количестве. *Инъекционные льды* развиты только в сартанских континентальных отложениях. Будучи антагонистами покровного оледенения, указывают на отсутствие оледенения в сартанское время. *Погребенные глетчерные льды* вообще распространены мало, и ограничены горными районами и предгорьями. Это говорит о небольших масштабах плейстоценового покровного оледенения.

#### **Подземные залежные льды Восточного сектора Арктики**

*На равнинах Восточной Сибири и Северо-Востока* России распространены почти целиком полигонально-жильные льды (см. *Карту*). Они образуются в результате морозобойного растрескивания поверхности и проникновения воды в трещины с последующим ее замерзанием. Формируются только в континентальных условиях, преимущественно в осадках озерно-аллювиального или лайдово-морского генезиса. Морозобойное растрескивание грунтов происходит при больших зимних температурных градиентах «воздух-грунт», возможных только при отсутствии ледника или моря, поэтому присутствие этих льдов свидетельствует об отсутствии ледникового покрова в соответствующие эпохи. Полигонально-жильные льды встречены в отложениях всех этапов плейстоцена, что говорит о континентальном развитии региона в течение всего плейстоцена.

*На Восточно-Арктическом шельфе* подземные льды, в отличие от Западно-Арктического, целиком реликтовые [Романовский, Тумской, 2011]. Шельф мелкий, здесь прослеживается затопленный послеледниковой трансгрессией древний ледовый комплекс каргинско-сартанского времени. Это тоже указывает на континентальное развитие региона в течение плейстоцена в условиях сурового климата и при отсутствии ледникового покрова.

#### **Обсуждение материала и основные выводы.**

Сопоставление всего изложенного материала, позволяет сделать ряд выводов относительно развития Российской Арктики в плейстоцене.

#### **О покровном оледенении на Российском Севере.**

Пространственные закономерности залегания всех генетических залежных льдов указывают на отсутствие в плейстоцене на равнинах Российского севера покровных оледенений (скорее всего, к востоку от полуострова Канин). Это касается и Западного, и, тем более,

Восточного сектора. Только в горных районах имело место оледенение – горно-долинное или сетчатое.

**О неодинаковом геологическом развитии Западного и Восточного секторов Российской Арктики.**

Два сектора развивались в плейстоцене по-разному. Равнины Западного сектора практически во все этапы плейстоцена (за исключением сартанского времени) формировались в условиях преимущественно морского и прибрежно-морского осадконакопления, а равнины Восточного сектора формировались в условиях континентального, преимущественно озерно-аллювиального и лагунного осадконакопления. Только регрессия в сартанскую эпоху и голоценовая трансгрессия проходили синхронно. Но масштаб их был неодинаковым.

Один из важных выводов заключается в том, что не прослеживается принятая ныне синхронность событий «ледниковый период – регрессия моря», «межледниковый период – трансгрессия моря». В Западной Сибири и в ледниковую эпоху в среднем плейстоцене, и в межледниковую казанцевскую эпоху существовал обширный морской бассейн, а в Восточной Сибири все это время был континентальный режим.

**О роли гляциоэвстатики в колебаниях уровня океана**

Приведенные факты ставят под сомнение принятое ныне убеждение о гляциоэвстатических процессах как главной причине колебаний уровня моря, и склоняют к убеждению о ведущей роли тектонических процессов.

**Тектоническая структура Северного Ледовитого океана как причина разнопланового развития Российской Арктики**

Ведущая роль тектоники вполне объяснима, если проанализировать строение Северного Ледовитого Океана. Российская Арктика входит в Арктический рифтовый пояс. Дно Арктического океана располагается на стыке Евразийской и Американо-Азиатской литосферных плит [Хаин, Лимонов, 2004; Лаверов и др., 2012], что обусловило существование двух изолированных и разнородных океанических впадин: Евразийской, с океанической корой и срединно-океаническим хребтом Гаккеля, и Американо-Азиатской, с преимущественно континентальной корой. Хребет Ломоносова замыкает Евразийскую впадину, изолируя ее от восточной Американо-Азиатской впадины. Развитие западной впадины происходит в режиме спрединга в хребте Гаккеля. Динамичность восточной впадины ограничена сравнительной устойчивостью больших участков континентальной коры. Совершенно очевидно, что это не может не влиять на неравномерные колебания уровня Арктического бассейна. В Западном секторе Арктики под влиянием спрединга в хребте Гаккеля в условиях океанической коры происходит попеременное уменьшение и увеличение объема впадины океана, что и вызывает сменяющие друг друга трансгрессии и регрессии моря. Равнинность территории Западных районов приводит к тому, что трансгрессии проникают на сушу далеко на юг и образуют обширные морские

бассейны. Для Восточного сектора Арктики, в условиях тектонически более устойчивой континентальной коры, характерны и часты мелкие подвижки, причем лишь в пределах шельфа. Горный рельеф региона, испытывающий, к тому же в настоящее время поднятие, например, Колымская горная страна [Патык-Кара Постоленко 2003], препятствует проникновению наступающего моря далеко в пределы суши.

**Карта подземных льдов криолитозоны России,**

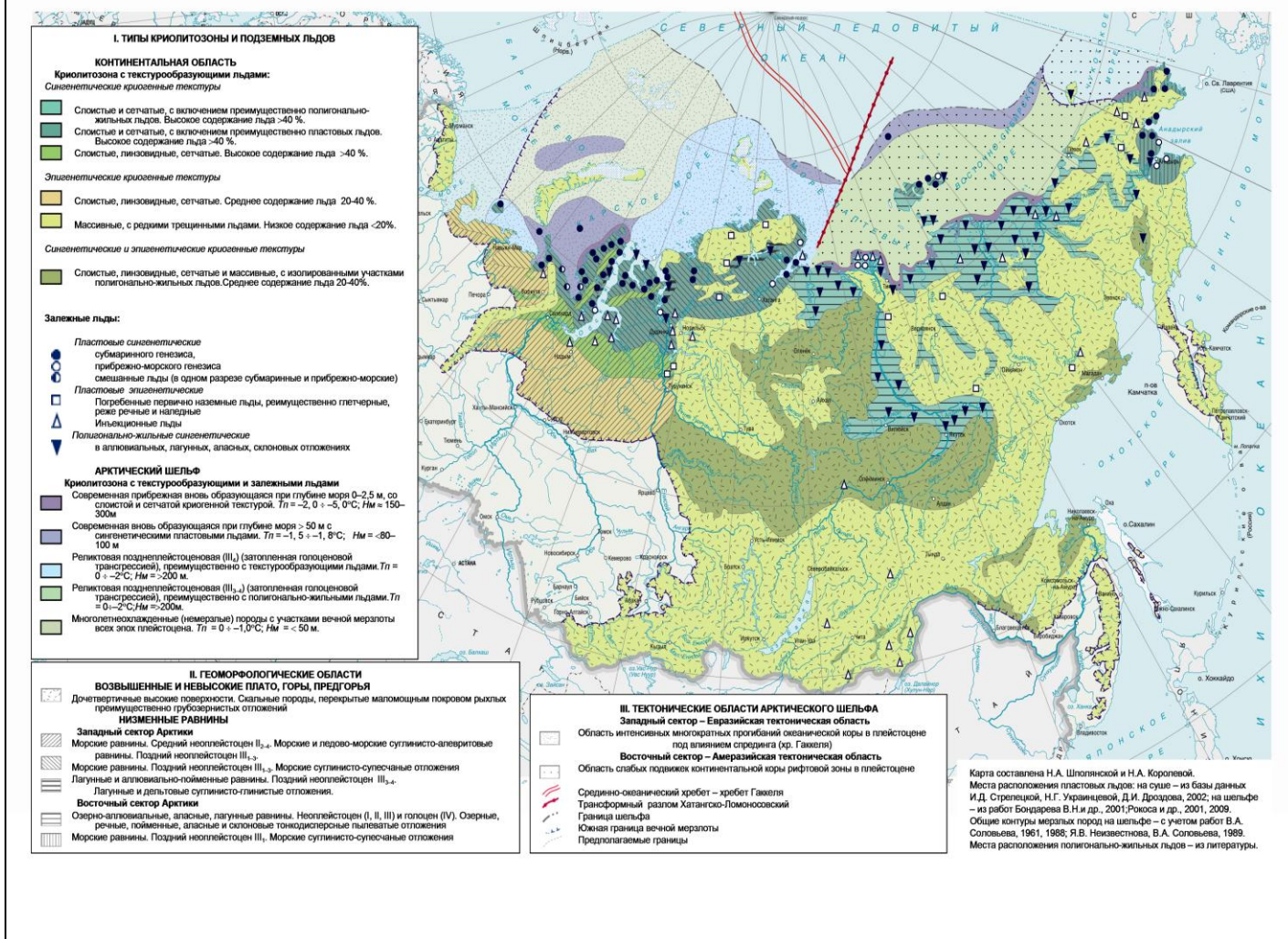
приведенная ниже, создана на основе изложенных представлений о геологическом развитии Арктики в плейстоцене-голоцене в системе Шельф–Суша, и учитывает главенствующее влияние неотектонических процессов.

**Литература**

- Бондарев В.Н., Локтев А.С., Другач А.Г., Потапкин Ю.В. 2001. Методы исследования и определения субаквальной мерзлоты. Сб. научн. трудов Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Книга 1. – Апатиты, Кольский научный центр, с. 15–19.
- Лаверов Н.П., Лобковский Л.И., Кононов М.В., Добрецов Н.Л., Верниковский В.А., Соколов С.Л., Шипилов Э.В. 2012. Базовая модель тектонического развития Арктики для установления внешней границы континентального шельфа. // Арктика: экология и экономика, № 2 (6), с. 4–19
- Мельников В.П., Спесивцев В.И. 1995. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа. – Новосибирск: Наука, 195 с.
- Патык-Кара Н.Г., Постоленко Г.А. Долинная система Колымы. История и факторы ее становления // Геоморфология, 2003, № 3, с. 62–75.
- Рокос С.И., Другач А.Г., Костин Д.А., Куликов С.Н., Локтев А.С. 2009. Многолетнемерзлые породы шельфа Печерского и Карского морей: генезис, состав, условия распространения и залегания. Инженерные изыскания. // Всероссийский инженерно-аналитический журнал, № 10, с. 38–41
- Романовский Н.Н., Тумской В.Е. 2011. Ретроспективный подход к оценке современного распространения и строения шельфовой криолитозоны Восточной Арктики. // Криосфера Земли. Т. XV, № 1, с. 3-14.
- Хаин В.Е., Лимонов А.Ф. 2004. Региональная геотектоника. – М.: «Геомодель–Консалтинг», 269 с.
- Шполянская Н.А. 1989. О возможности промерзания донных отложений в Арктических морях. // Вестник МГУ, География, № 5, с.72–78
- Шполянская Н.А. 2010. Особенности криолитозоны западного сектора Арктики в системе шельф–суша. // Вестн. Моск. Ун-та, Сер.5, География, № 6, с. 50–57.
- Шполянская Н.А., Стрелецкая И.Д. 2004. Генетические типы пластовых льдов и характер их распространения в Российской Субарктике. // Криосфера Земли, Т. VIII, № 4, с. 56-71.



## ПОДЗЕМНЫЕ ЛЬДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ РОССИИ



Карта подземных льдов криолитозоны России в системе Шельф–Суша.

Масштаб 1:20 000 000. 2014.

На шельфе выделены два сектора (западный и восточный), различающиеся неотектоническими процессами, обусловившими неодинаковое в каждом из секторов развитие криолитозоны в Арктике и Субарктике



## A High-Resolution NDVI Trends Around Urban Areas of Northern West Siberia

I. Esau, V. Miles

*Nansen Environmental and Remote Sensing Centre, Bergen, Norway*

*Bjerknes Centre for Climate Research*

### Abstract

This study reports results of statistical analysis of the spatial and temporal changes in the normalized difference vegetation index (NDVI) around 28 major urban areas and industrial installations in the Northern West Siberia. The analysis is based on 15 years (2000-2014) of high resolution (250 m) MODIS data acquired for summer months (June through August). The study confirms destruction of the vegetation cover within and around the urbanized areas where NDVI has 15% to 45% lower values than for the corresponding natural territories. At the same time, the accelerated increase of NDVI (or "greening") at and in the near proximity of the older urban areas was found. Many Siberian cities become greener even against the region-wide decrease in the NDVI background over southern part of the territory. We hypothesize that the observed accelerated "greening" of the urban areas could be caused by the vegetation cover response on the anthropogenic heat pollution as well as by a remarkable shift in the mental environmental paradigm of the migrant urban dwellers.

**Key words:** Normalize difference vegetation index; Climate trends; Land use and land cover; Satellite data analysis; Urban studies.

### NDVI-тренды высокого пространственного разрешения вокруг урбанизированных территорий севера Западной Сибири

И.Эзау, В.Майлз

*Центр Исследований Окружающей Среды и Дистанционного Зондирования им. Ф. Нансена, Берген, Норвегия*

*Центр Исследований Климата им. В. Бьеркнеса*

### Реферат

Данная работа представляет результаты статистического анализа пространственных и временных изменений индекса NDVI вокруг 28 урбанизированных и промышленных территорий на севере Западной Сибири. Анализ выполнен на материале снимков земной поверхности со спутника MODIS, полученных в течении 15 лет (2000-2014) для летних месяцев (Июнь-Август) с пространственным разрешением 250 м. Результаты анализа хорошо согласуются с представлением о значительном повреждении растительного покрова в городах и вокруг них, где значения NDVI на 15% - 45% ниже, чем на соответствующей окружающей природной территории. В то же время, в городах и вокруг них был обнаружен ускоренный рост индекса NDVI («позеленение»). Более того, многие города Сибири показывают «позеленение», в то время как NDVI окружающих их природных территорий уменьшается. Мы предполагаем, что такое «позеленение» связано с откликом растительности на городской остров тепла и, возможно, с изменением отношения городского населения к природной среде.

**Ключевые слова:** NDVI; Климатические тренды; Ландшафты и растительный покров; Анализ спутниковых снимков; Урбанистика

### Introduction

Despite importance of the high-latitude urban areas for the region's societies and economy, the studies of the wider environmental impact of these areas are still limited. It has been recognized however that the surface air temperature (SAT) and the normalized difference vegetation index (NDVI) at and around the urban areas may considerably deviate from background trends found for natural land cover. Majority of the published studies were conducted using coarse data sets of spatial resolution of 1 km; 0.25 degree; 1 degree or coarser [Zhang *et al.* 2004a; Zhang, *et al.* 2004b]. For instance, [Zhang *et al.* 2004b] utilized an algorithm to use buffer zones around North American urban areas but applied the data coarse-graining procedure to work with 0.5 by 0.5 degree cells. Such an approach is questionable as Elsakov and

Teljatnikov [2013] has demonstrated that the largest contribution to the coarse-grained trends is given by specific vegetation types (e.g. willow shrub in tundra), which cover only a small fraction of the grid cell.

The northern vegetation, and therefore NDVI values, north of about 60°N is primarily controlled by the summer temperatures as [Barichivich *et al.* 2014] have shown in an extensive statistical analysis. Intercomparison between natural and urban land cover types reveals that the urban areas are significantly (1-3°C) warmer than the natural land-cover classes. This warmer heat island shifts the dates of the vegetation phenology of greening and dormancy by 2-16 days, whereas the largest urban gain in the duration of the vegetation season is observed in the most northern urban pixels [Zhang *et al.* 2004a].



There are however only a few insightful case studies, which relate the satellite data analysis to the in situ studies. Moreover, almost all such studies are referring to the natural land cover, e.g. Elsakov and Teljatnikov [2013]. The studies of the anthropogenically modified land cover were reported at Samotlor lake [Hese & Schmullius 2009], Bakchar-Parabel watershed [Dyukarev et al. 2011], Bovanenkovo gas field [Kumpula et al. 2012], and Nadym urban area [Moskalenko 2013].

This study extends and generalizes the analysis looking at the NDVI changes over the whole Northern West Siberia, and specifically, at the changes in proximity of 28 major urbanized areas in this region. The study utilized 15 years of fine resolution (250 m) NDVI data over 2000-2014. The data obtained by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) onboard of the Earth Observing System-Terra platform. This data choice is supported by previously published research. (Huete, et al., 2002) found the MODIS NDVI to be in a good correspondence with airborne-measured, top-of-canopy reflectance at four intensively measured test sites representing semi-arid grass/shrub, savanna, and tropical forest biomes. [Epstein et al. 2012] obtained high linear correlations between the MODIS NDVI and biomass in Siberian tundra.

## Data and Method

We used the MODIS NDVI product (MOD13Q1, 250 m spatial resolution, 16-day composites produced every 16 days). NDVI data were quality-filtered by the MODIS reliability data, excluding snow- and cloud covered pixels. A 0.3-1 NDVI threshold is used to exclude water, bare soil and other non-vegetated pixel from the analysis. Growing season (JJA) NDVImax maps (Figure 1) were compiled by selecting the maximum NDVI from each 16-day composites for each pixel. NDVImax characterizes the maximum development of vegetation during the growing period and reduces the errors in beginning of phenological phases between different vegetation zones.

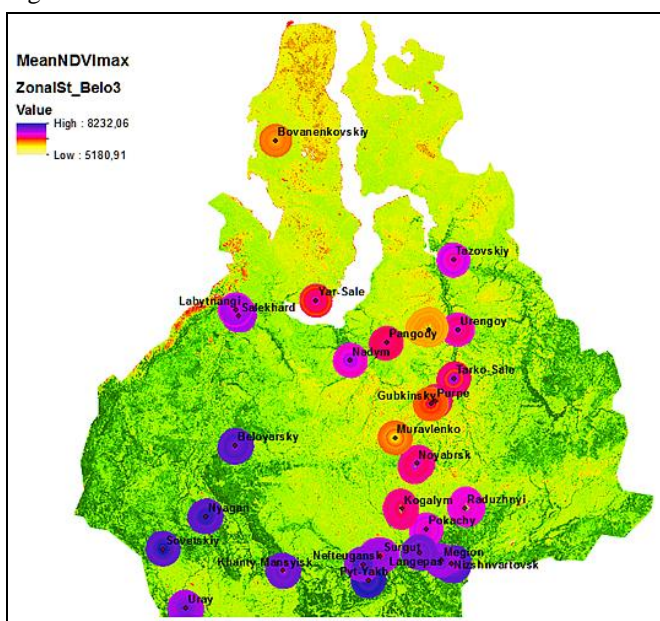


Fig. 1. The averaged 2000-2014 NDVImax values for the background land cover (green scale colors) and the urban buffer zones (blue-red scale colors; 5 km rings)

The analysis was applied to 28 urban areas with population more than 6000 inhabitants (see Fig. 1 and 2). They are located in four different vegetation zones (tundra, forest-tundra, northern and southern taiga). Therefore a pronounced south-north gradient in the background NDVImax must be taken into account when the urban effects are considered. The urbanized areas in the region are mostly localized near the largest water pathways (rivers). Such selective localization results in strong anisotropy of the suburban landscapes where a strip of vegetation along the river has significantly larger NDVImax than vegetation cover extending in other directions. NDVImax in this study is assessed in 40 km buffer zones. The buffer zone around each selected site is broken on 8 rings of 5 km width. The NDVImax is first calculated at each pixel for the territory (not only within the buffer zone), which gives us one value per pixel per year. Then NDVImax is averaged within each ring for each year, which gives us 15 values (years) of NDVImax for each of 8 rings. This method is similar to the method used in [Zhang et al. 2004b].

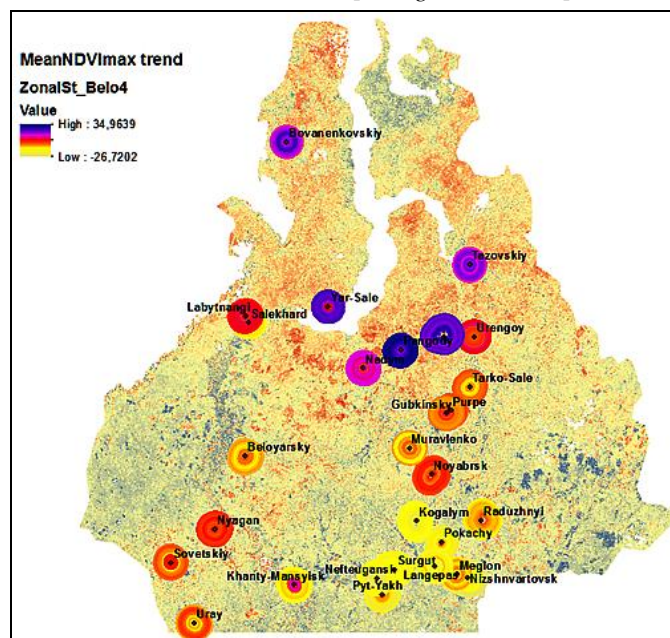


Fig. 2. The same as in Figure 1 but for the NDVImax trends

## Results

The results of our analysis reveal three major features of NDVImax patterns and trends. First, at the largest region scales, the NDVImax has lower values over open grass land, bogs and other unproductive land patches both over the northern, central and southern parts of the territory (Fig. 1). The NDVImax pattern is very patchy and spatially decorrelated as it has been already found in the coarse-resolution analysis by other authors. On this background, the river terraces are more productive due to better draining and higher soil temperatures.

Second, the NDVImax trends shows strong north – south dichotomy where the reddish colors correspond to increasing productivity and the bluish colors correspond to decreasing

productivity with the zero change line located broadly near 65°N (Fig. 2). This location, as well as more small-scale regional features, coincides with the location of the tree line in the region. It has been already suggested in literature [Lloyd & Bunn 2007; Beck & Goetz 2011] that the land cover greening is linked to proliferation of tall bushes (Salix and Betula nana). [Lloyd & Bunn 2007] investigated several suggested causes using in situ studies from 232 forest sites. They found that the decreasing NDVI<sub>max</sub> occurred more frequently at the warmer end of a species' range. The direct temperature stress was strongest for four species: Larix sibirica, Picea glauca, Picea obovata, and Pinus sylvestris. Thus, the climate warming has more negative in grown trees. A widespread hypothesis of stronger water stress due to warmer and dryer soils has not been confirmed in this region in [Barichivich et al. 2014].

Third, the urban buffers exhibit significant variability of the NDVI<sub>max</sub> values with distance from the urban core. We found however a universal reciprocal decay of the NDVI<sub>max</sub> with respect to the distance (Fig 3). This universality reflect the preferable location of cities at the more productive (higher NDVI<sub>max</sub> values) river terraces, which is particularly clearly seen in the northern cities. In this sense, the reciprocal NDVI<sub>max</sub> decay is an artifact of the analysis algorithm, while it correctly represents the NDVI<sub>max</sub> distribution in the buffer zones.

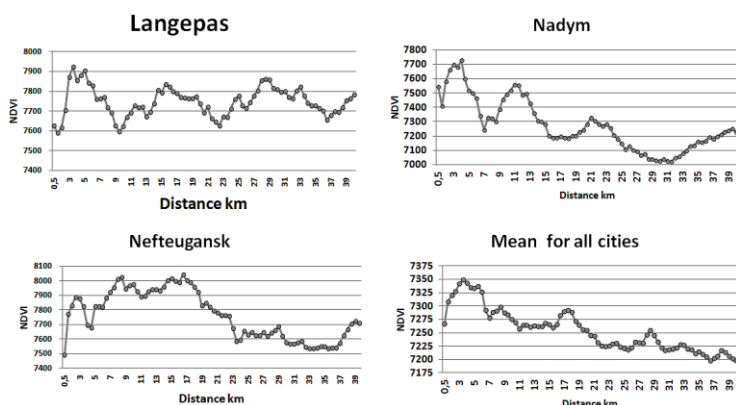


Fig. 3. The 0.5 km ring averaged NDVI<sub>max</sub> in the buffer zones (0 km – 40 km) around selected urban areas.

The NDVI<sub>max</sub> patterns and trends within the urban buffer zones and within the urbanized areas themselves considerably differ from the background patterns. Fig. 4 shows this differences normalized by the mean NDVI<sub>max</sub> values in the buffer zones. It is easy to observe that majority of the cities have much lower (5% to 45%) NDVI<sub>max</sub> in their urban cores and in the first 5 km ring around them than in their buffer zones. There are however no other clear dependences between NDVI<sub>max</sub> within the cities and the surrounding environment.

Contrary, the urban NDVI<sub>max</sub> trends are in many cities significantly larger than the NDVI<sub>max</sub> trends in their buffer zones (Fig. 5). Moreover, the urban trends are positive (i.e. the biomass production is increasing) in many cities on the background of decreasing NDVI<sub>max</sub> trends in the buffer zones. Those cities occupy the sectors III and IV in Fig. 5.

### Conclusions

Statistical analysis of the high-resolution NDVI<sub>max</sub> data over the period 2000-2014 has confirmed the increasing NDVI<sub>max</sub> trends in the northern part of the West Siberia approximately north of 65°N. The analysis showed that these trends are very patchy with the largest changes occurring over small fraction of the territory. This is consistent with the previously suggested hypothesis that the positive trends could be associated by the proliferation of tall shrubs. The NDVI<sub>max</sub> trends south of 65°N are predominantly negative. Moreover, at smaller spatial scales, the negative trends are predominantly found for the patches of high mean NDVI<sub>max</sub>, which are associated with forested areas. This finding is consistent with the hypothesis that the grown trees reduce their biological productivity in response to the heating stress. Thus, the high-resolution data analysis has generally corroborated the results of the published coarse-resolution studies.

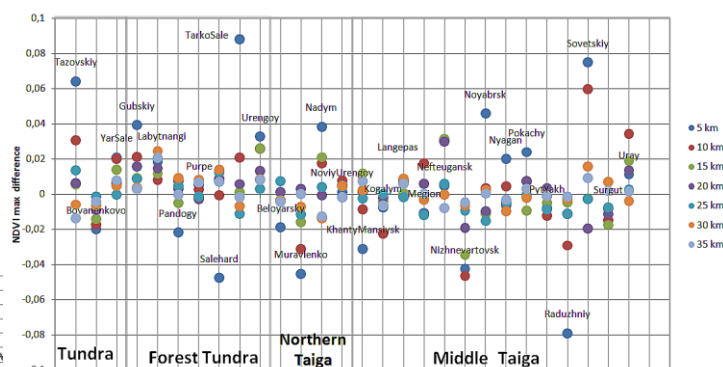


Fig. 4. The normalized difference between the NDVI<sub>max</sub> in the urban core and 5 km ring averaged NDVI<sub>max</sub> in the buffer zones (5 km – 35 km) around. Each vertical line corresponds to the buffer zones around one city. The cities arranged according to the major ecotones in the region. The normalization is done by the mean values of NDVI<sub>max</sub> for each buffer zone.

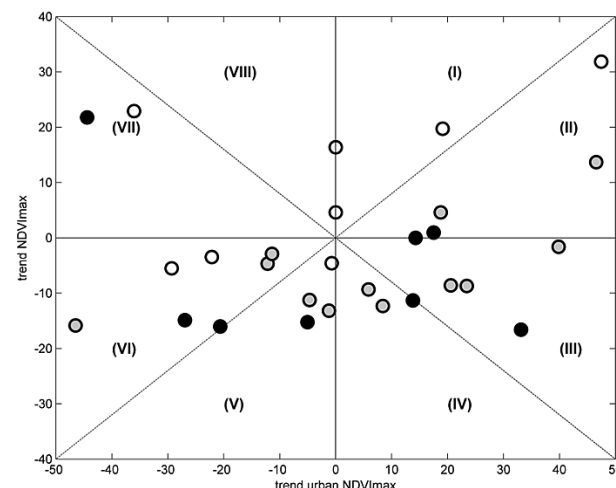


Fig. 5. The NDVI<sub>max</sub> trends in the urban core plotted against the NDVI<sub>max</sub> trends the background rings (25 km – 35 km). Black dots correspond to the cities with more than 50 000 inhabitants; gray – to the cities with 1 000 to 50 000 inh.; and white circles – to the industrial areas with less than 1 000 inh. Sectors from II to V contain cities with positive urban impact on vegetation cover, i.e. with urban NDVI<sub>max</sub> trends larger than in the surrounding buffer zones.

Contrary, the analysis of the urban impact on the vegetation land cover disclosed unexpected features. The study demonstrated that NDVImax is significantly lower within the city cores and within the first 5 km ring around it. However, NDVImax is frequently higher at 10 km to 20 km distances from the city. So far, we were unable to find any clear dependence of these values from external control factors. Unexpectedly, NDVImax increase much faster (or decrease much slower) within the city cores than in their corresponding surrounding zones. This feature clearly demonstrates a positive impact of urban settlements on the vegetation.

This positive urban effect on the biomass production is likely linked to many different factors (soil fertilization, replanting, selection of more productive species, etc) where the urban heat island is just one among the others. Nevertheless, the higher than average NDVImax values in the closest rings may indicate that the role of the urban heat island could be significant. To further clarify the issue, we continue the research working with the surface temperature from the same MODIS data.

### Acknowledgement

This study was supported by the Belmont Forum project 247468 - Anthropogenic Heat Islands in the Arctic - Windows to the Future of the Regional Climates, Ecosystems and Societies and internal project of the Bjernes Centre for Climate Research.

### References

- Barichivich, J. et al., 2014. Temperature and snow-mediated controls of summer photosynthetic activity in Northern terrestrial ecosystems between 1982 and 2011. *Remote Sensing* 6: 1390-1431.
- Beck, P. & Goetz, S., 2011. Satellite observations of high northern latitude vegetation productivity changes between 1982 and 2008: ecological variability and regional differences. *Environmental Research Letters* 6: 045501.
- Dyukarev, E., Pologova, N., Golovatskaya, E. & Dyukare, A., 2011. Forest cover disturbances in the South Taiga of West Siberia. *Environmental Research Letters* 6: 03520.
- Elsakov, V. & Teljatnikov, M., 2013. Effects of interannual climatic fluctuations of the last decade on NDVI in north-eastern European Russia and Western Siberia. *Contemporary Problems of the Earth's Remote Sensing* 10(3): 260-271.
- Epstein, H. et al., 2012. Dynamics of aboveground phytomass of the circumpolar Arctic tundra during the past three decades. *Environmental Research Letters* 7: 015506.
- Forbes, B., Marcia-Fauria, M. & P., Z., 2010. Russian Arctic warming and ‘greening’ are closely tracked by tundra shrub willows. *Global Change Biology* 16: 1542–1554.
- Hese, S. & Schmullius, C., 2009. High spatial resolution image object classification for terrestrial oil spill contamination mapping in West Siberia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 11(2): 130-141.
- Huete, A. et al., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83: 195–213.
- Kumpula, T., Forbes, F., Stammmler, F. & Meschtyb, N., 2012. Dynamics of a Coupled System: Multi-Resolution Remote Sensing in Assessing Social-Ecological Responses during 25 Years of Gas Field Development in Arctic Russia. *Remote Sensing* 4: 1046-1068.
- Lloyd, A. & Bunn, A., 2007. Responses of the circumpolar boreal forest to 20th century climate variability. *Environmental Research Letters* 2: 045013.
- Moskalenko, N., 2013. Impact of climate warming on vegetation cover. *Natural Science* 5(1A): 144-148.
- Zhang, X., Friedl, M., Schaaf, C. & Strahler, A., 2004. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid- and high latitudes inferred from MODIS data. *Global Change Biology* 10: 1133–1145.
- Zhang, X. et al., 2004. The footprint of urban climates on vegetation phenology. *Geophysical Research Letters* 31: L12209.



## Первые результаты исследования отложений западного берега о. Белый

А.А.Юртаев, Ю.Д.Аминова

*Тюменский государственный университет, Тюмень*

А.Л.Александровский

*Институт географии РАН, Москва*

Н.Е.Рябогина

*Институт проблем освоения Севера СО РАН (ИПОС СО РАН), Тюмень*

### Реферат

В работе приводится описание и даны первые результаты комплексного исследования почвенно-геологического разреза, расположенного на западном побережье о. Белый (Карское море). На основе данных морфологического, гранулометрического, химического и спорово-пыльцевого анализов предлагается схема развития отложений и почв разреза в голоцене.

**Ключевые слова:** голоцен, трансгрессия, погребенный торф, синлитогенная почва

### First Study of Sediments at Western Coast of Belyy Island

A.A.Yurtaev, Yu.D.Aminova

*Tyumen State University, Tyumen, Russia*

A.L.Alexandrovskiy

*Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

N.E.Ryabogina

*Institute of Northern Development SB RAS, Tyumen, Russia*

### Abstract

In this study you can see the description of complex soil-geological profiles which have been done on western shore of Bely Island in the Kara Sea. The scheme of development of the west shore during the Holocene offered on the basis of the results of morphological, granulometric, chemical and spore-pollen analysis.

**Key Words:** Holocene, transgression, buried peat, syngenetic soil

### Введение

Процессы формирования отложений Арктики, богатых органическим веществом проводились в основном на примере толщ плейстоцена [Губин 1996; Губин Луначев 2012]. Почвы в них представлены в основном горизонтами накопления грубого органического вещества. Голоценовые палеопочвы исследованы слабо. Можно упомянуть единичные работы [Свиточ Евсеев 1979]. На о. Белый такие исследования до настоящего времени не проводились.

Учитывая специфику условий, слабую выраженность почв, интенсивное развитие мерзлотных процессов, большое значение должны иметь комплексные исследовательские подходы, с использованием методов анализа литологии, палинологии, диатомовых водорослей и других. Такие исследования авторами только начинаются и в данной работе рассмотрены самые первые результаты работы.

### Расположение и географическая характеристика района исследования

Исследования проводились на о. Белый в Карском море (73°15'00"с.ш., 70°50'00"в.д.). Это небольшой

арктический остров площадью почти 1900 кв. км. Поверхность представлена низкой приморской равниной, ступенями поднимающейся от пляжа и низкой лайды к высокой лайде, к первой и второй морским террасам с абсолютными высотами 3-7 и 6-12 м.

Непосредственный район исследования располагался в прибрежной зоне юго-западной части острова (рис.1).

Согласно геокриологической карте (1991) и абсолютным отметкам (3-5 м) этот участок относится к первой морской террасе. В основе ее лежит многолетнемерзлый суглинисто-глинистый цоколь, а верхняя часть сложена тонкими и мелко-тонкозернистыми песками с подчиненными слоями алевритов и смешанных алевро-песчаных пород [Слагодина др. 2013].

Геосистемы участка (рис. 1) представлены характерными для острова типами, генезис которых всецело определяется рельефом, механическим составом пород, степенью увлажнения и криогенными процессами. Четко выделяется песчаная зона пляжевых отложений, шириной в 30-45 м, приподнятая над уровнем моря не более чем на 1 м, береговой откос (незадернованный, высотой от 2.5 до 4 м), речная долина, переходящая в морской пляж и примыкающие к ней водораздельные



(плакорные) равнины. На границах между плакорами и долиной формируются хорошо выраженные дренированные склоны. В целом весь участок сложен песчаными породами и лишь в излучинах речной долины формируются фации ожелезненных суглинков.

Плакоры заняты осоково-мохово-пушицевыми тундрами на глееземах арктических в комплексе с осоково-сфагново-пушицевыми болотами на глееземах торфянистых. На хорошо дренируемых склонах формируются кустарничково-осоково-зеленомошные тундры с почвами тундровых пятен. В долине реки на некотором удалении от моря на приподнятых участках пойменной террасы развиваются осоково-злаково-моховые луга на псаммоземах. Нижняя часть долины, а также морской пляж представлены открытыми мелко- и тонкозернистыми песками.

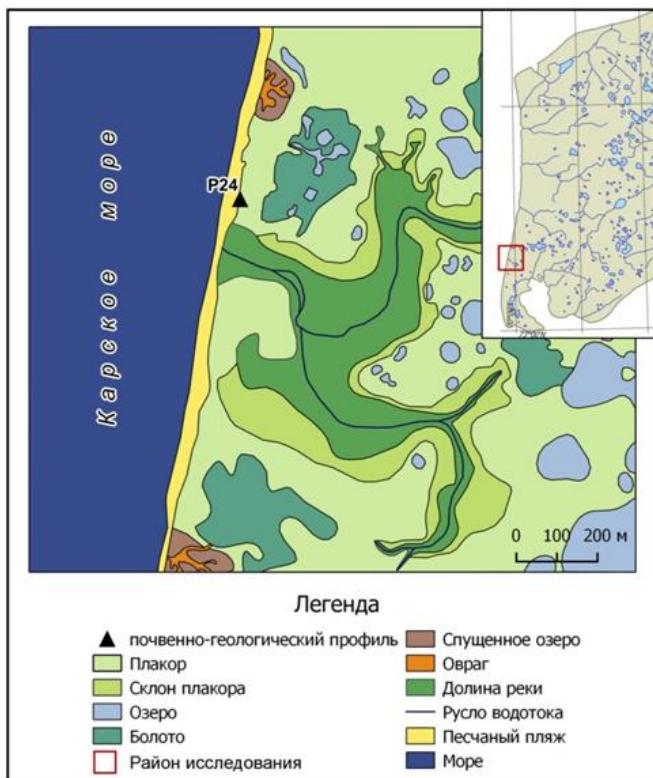


Рис. 1. Ландшафтно-геоморфологическая карта района исследований

### Описание почвенно-геологического разреза

Изученный разрез отложений с погребенным торфяным горизонтом (рис. 2), вскрытый в обрыве берега, отступающего под действием абразии, расположен в юго-западной части острова (73°06'30.2544"N, 69°58'42.7295"E).

Всего было выделено 6 горизонтов общей мощностью 3 м. Верхнюю часть профиля (примерно до глубины 80 см) можно назвать почвенной (синлитогенной), с погребенным торфяным горизонтом, а нижнюю – геологической, имеющую морское происхождение (120-300 м). Описание горизонтов разреза и их анализ приводим ниже.

**Горизонт 1.** Глубина 0-5 см. Это современный растительно-песчано-торфяной слой. Строение горизонта хорошо иллюстрирует формирование современной (гор 1 и 2) синлитогенной почвы. Верхняя часть – подгоризонт 1a (рис.3) – песчаный рыхлый слой, обильно переплетенный корнями осок, мощность которого составляет 0-2(2.5) см. Происхождение его связано, скорее всего, с золовыми процессами, в результате выноса песка с морского пляжа.

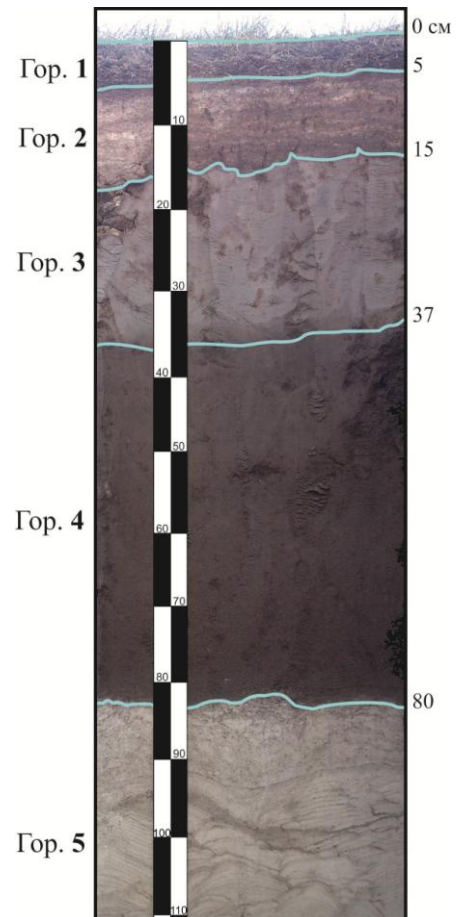


Рис. 2. Верхняя (почвенная) часть почвенно-геологического разреза (P-24)

Нижняя часть гор. 1 представляет собой торфяной подгоризонт (2-5 см). Степень разложения слабая, по сути, это смесь растительных остатков (листочков, чешуек, стеблей черно-бурого цвета) обильно просыпанных песчаными зёрнами. Песчаные зёрна имеют неодинаковые размеры (рис 4, фр. 1) – в среднем от 50 до 200 и более мкм (мелко- и тонкопесчаные фракции). Крупные песчинки отличаются плохой окатанностью, при этом большая часть зёрен имеет буровато-охристые пленки, что вероятно свидетельствует об активной гумификации растительных остатков.

**Горизонт 2.** 5-15 см. Отличается слоистой текстурой – торфяные бурые и темно-бурые прослои (0.5-1 см) чередуются с серо-бурыми и светло-серыми песчаными прослоями (0.5-2 см). Нижняя граница (рис.3), имеет четкий, но изломанный характер, в некоторых местах

кверху идут трещины, заполненные суглинистым веществом из нижнего горизонта.

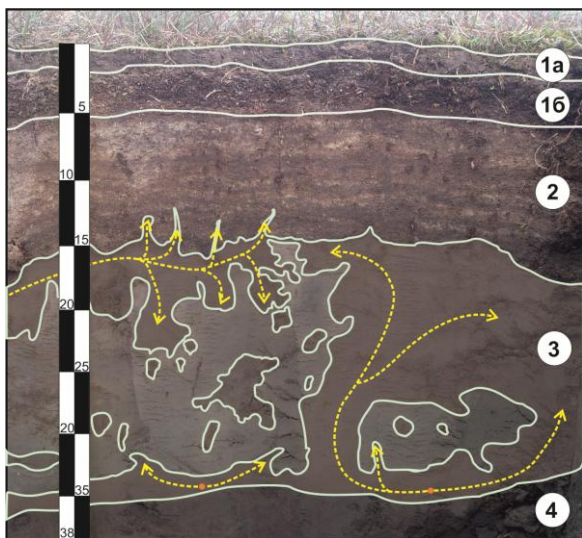


Рис. 3. Верхние горизонты синлитогенного почвенного профиля над погребенным торфяным горизонтом

Происхождение горизонта также связано с эоловыми процессами, по сути, он представляет собой вариант многократно повторяющегося горизонта 1, измененного

Таблица 1. Механический состав алеврито-глинистых отложений профиля Р24 (по методу Рутковского)

Образец	Песок (>0.05 мм)		Глина (<0.005 мм)		Пыль (0.05 мм-0.005 мм)	Механический состав
	осадок, см <sup>3</sup>	%	прирост, в см <sup>3</sup>	%		
Горизонт 3	6	60	1.2	27.7	12,3	Суглинок тяжелый
Горизонт 6	2	20	1.98	45	35	Глина легкая пылевая

Таблица 2. Значение рН, содержание хлоридов и сульфатов в горизонтах 3, 5, 6 профиля Р24

Горизонт, см	рН	Хлориды		Сульфаты	
		мг/л	мг/экв	мг/л	мг/экв
Горизонт 3 (15-37)	6,34	30,18	0,85	19,2	0,2
Горизонт 5 (80-260)	7,50	28,4	0,8	26,88	0,3
Горизонт 6 (260-300)	8,12	124,25	3,5	99,84	1,04

**Горизонт 4.** 37-80 см. Представляет собой торф темно-бурого цвета с большим содержанием песчаных и алевритовых частичек (соотношение органики и минеральных зерен ориентировочно 70 на 30%). Горизонт неоднороден. Так, в нижней части встречаются деревянистые остатки стеблей кустарничков, а в верхней части горизонта их нет. Кроме этого, верхняя часть горизонта (37-60 см) отличается более высоким содержанием фракции пыли. Так, по сравнению с современным торфяным горизонтом (гор.1 и 2) отсутствуют крупные кварцевые песчинки (рис. 4, фр. 4).

Формировался, скорее всего, в аккумулятивном ландшафте озерного или озерно-речного типа при

диагенезом. Минеральные зерна и по размерам и по характеру окраски напоминают таковые в горизонте 1 (рис.4, фр. 2).

**Горизонт 3.** 15-37 см. Представляет собой серый с охристым оттенком (темно-оливковый во влажном состоянии) тяжелый суглинок (табл.1). Под микроскопом в рыхлом состоянии хорошо видны песчинки, густо облепленные охристыми алевритовыми и глинистыми частицами (рис.4, фр. 3).

Примечательной особенностью является наличие по всему горизонту бурых пятен и языков (рис.3). Образование их, скорее всего, связано с процессами криогенного выдавливания, когда в результате сезонного промерзания переувлажненный суглинок, зажатый между верхней кровлей мерзлых пород и промерзающей толщей сверху, начинает выдавливаться в стороны и вверх (рис. 3, стрелками показаны потенциальные направления движения суглинистого геля).

Образование горизонта происходило, вероятно, в «спокойных» аккумулятивных пресных условиях озерной фации. Косвенно о его озерном генезисе свидетельствует незначительное содержание хлоридов и сульфатов, а также нейтральное значение рН (табл.2).

наиболее благоприятных биоклиматических условиях. Об этом свидетельствует наибольшая концентрация палиноморф. В составе растительных сообществ доминировали зеленые мхи и злаки, при участии осок, сфагнума, дриад, камнеломок и вересковых кустарничков. Кустарниковый ярус представлен карликовой березкой, полярной ивой и душекией, палиноспектр характеризуется большим процентом заносной пылицы древовидных берез и иногда пылицы сосны.

**Горизонт 5.** 80-260 см. Представляет собой белесоватый песок с мощными охристыми языками и пятнами. Классифицировать его можно как песок морской олигомиктовый (кварца 70-75%) мелкозернисто-тонкозернистый алевритистый (табл. 3).

Всю песчаную толщу можно разделить на два подгоризонта – верхний (80-120) и нижний (120-260). Верхний имеет четкую косослоистую тонкошлифовую криотекстуру. Под микроскопом представляет собой смесь частичек преимущественно кварцевой природы, размером до 200 и более мкм, перемешанных с незначительным количеством растительных остатков (рис. 4, фр. 5).

Нижняя часть песчаных отложений под микроскопом имеет тот же характер, что и верхняя часть, с той лишь разницей, что практически нет органических остатков (рис. 4, фр. 6-7). Кроме этого, в нижней части



присутствуют мощные охристые языки (до 40 см) и пятна (общая площадь охристой прокраски 20-30%), являющиеся, вероятно, следствием термокарста.

Таблица 3. Зерновой состав песка из гор. 5 (ГОСТ 12536-79)

Размер	>0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	<0.05
%	-	66.1	21.4	12.5

**Горизонт 6.** Представляет собой зернисто-порошистую глину (табл. 1) темно-серую во влажном состоянии с редкими охристыми вкраплениями. Под микроскопом

отчетливо видны зернистые агрегаты, густо облепленные алевритово-глинистыми частицами. В то же время очень мало отдельных крупных кварцевых зерен (не более 100 мкм). Кварцевые песчинки, как правило, мутные и плохо окатанные. Редко встречаются частички органики.

Формирование этих глин происходило, вероятно, в морских лагунных условиях, о чем свидетельствует относительное увеличение содержание хлоридов и сульфатов, а также щелочная реакция среды (табл. 2).

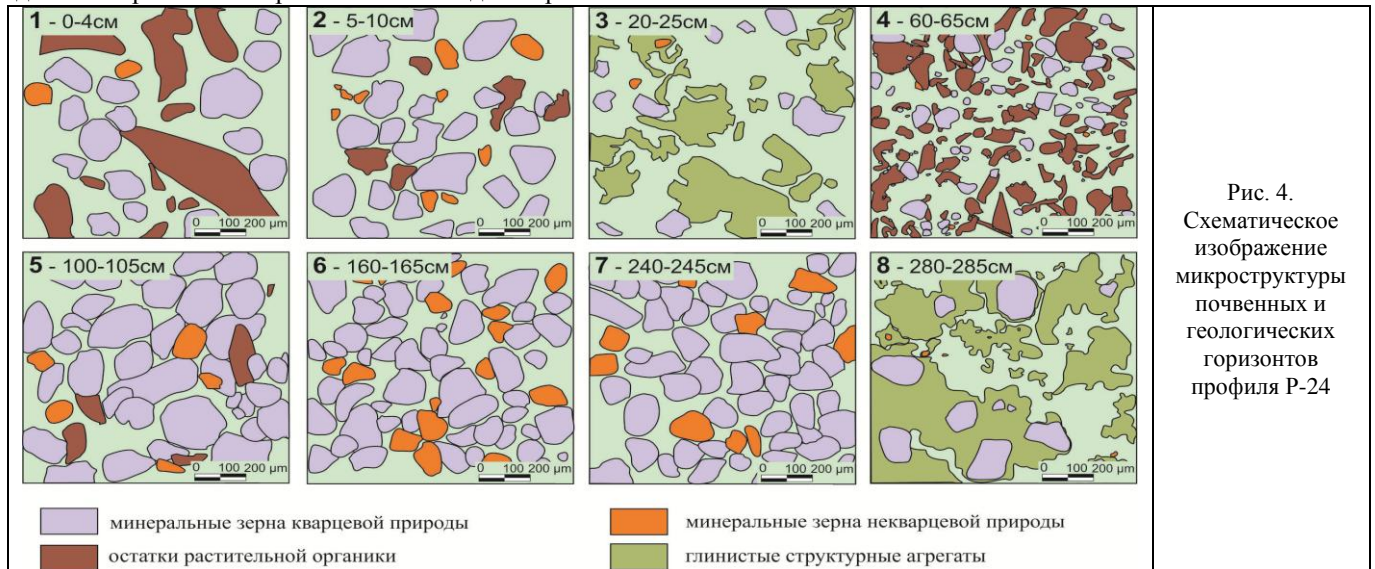


Рис. 4. Схематическое изображение микроструктуры почвенных и геологических горизонтов профиля Р-24

## Выводы

Развитие отложений, вскрытых в исследуемом разрезе, характеризовалось прохождением ряда стадий. Глины в основании отложений, обогащенные органическим веществом, предположительно, морские лагунные, очевидно имеют раннеголоценовый возраст. Выше лежащие пески сформировались в период максимально высокого уровня моря. Затем исследуемая территория обсыхает, и начинается формирование болотных отложений и почв. В это время, вероятно, были благоприятные биоклиматические условия, о чем свидетельствует большая концентрация палиноморф. В условиях мерзлоты развиваются термокарстовые процессы, появляются криогенные деформации. Суглинистый слой соответствует появлению озера, а выше лежащие слоистые торфяно-песчаные отложения связаны с эоловыми процессами. Возраст этой слоистой толщи относительно молодой, так как море приблизилось к данному месту недавно. Отметим, что по нашим подсчетам скорость отступления берега, размываемого морем, около 1 м в год.

## Благодарности

Полевые работы А.А. Юртаева на о-ве Белый организованы объединением НП "Российский центр освоения Арктики" (г. Салехард).

## Литература

- ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава [текст]. Взамен ГОСТ 12536-67; Введ. с 01.07.80. – Москва: Изд-во стандартов, 1980. – 16 с.
- Геокриологическая карта СССР. 1991. Масштаб 1:2 500 000. / Под ред. Э.Д. Ершова. – М., 1991. – 16 листов.
- Губин С.В. 1996. Позднеплейстоценовое почвообразование на территории Северо-Восточной Евразии // Докл. АН СССР, 1996, т. 351, № 4, с. 544–547.
- Губин С.В., Лупачев А.В. 2012. Подходы к выделению и изучению погребенных почв в мерзлых толщах отложений ледового комплекса // Криосфера Земли, 2012, т. 2, с. 79-84.
- Слагода Е.А., Лейбман О.М., Хомутов А.В., Орехов П.Т. 2013. Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море (часть 1) // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, №4, с. 11-21.
- Свиточ А.А., Евсеев А.В. 1979. Погребенные почвы и геохимические особенности новейших отложений о. Айон (Чаунская губа) // Почвоведение, 1979, № 11.

## Именной указатель

- Abakumov E., 1  
Abramov A.A., 5  
Alekseeva V.A., 199  
Alexandrovskiy A.L., 8  
Alexeev S.V., 12  
Alexeeva L.P., 12  
Aminova Yu.D., 444  
Antcibo I., 1  
Archipova M.V., 50  
Arkhipov V.V., 269  
Arzhannikov S.G., 12  
Badu Yu.B., 16  
Baluk N.A., 407  
Bazhin A.S., 163  
Bazhin K.I., 46  
Belova N.G., 20  
Berdnikov N.M., 27, 300  
Berezin P.V., 50  
Beshentsev V.A., 24  
Blyakharchuk T.A., 27, 300  
Bobkov R.A., 31  
Bobrik A.A., 35  
Boldyreva O.Yu., 80  
Bome N.A., 258  
Bordonskiy G.S., 38, 91  
Buldovich S.N., 291  
Bykova A.V., 40  
Chekrygina S.N., 420  
Dolgikh G.M., 272  
Domanskaia O.V., 93, 97, 187  
Domanskii V.O., 54, 93, 97  
Drachuk A.O., 101  
Drozdov D.S., 69, 105, 202, 243, 280, 420  
Dubrovin V.A., 105, 109, 333  
Dudko D.N., 80  
Dvornikov Yu.A., 84, 250, 416  
Dydyshko P.I., 113  
Dzhumandzhi V.A., 424  
Efremov V.N., 127  
Elantsev E.V., 84  
Enoktaeva O.V., 117  
Eremin I.I., 119  
Ermokhina K.A., 123  
Esau I., 440  
Faga A.N., 387  
Fedorov R.Yu., 391  
Fedorova A.F., 150  
Fisher T.A., 391, 395  
Fufaeva M.S., 399  
Gennadinik V.B., 54  
Georgiadi A.G., 58  
Gerasimov A.G., 62  
Gerasimova A.A., 62  
Golobokova L.P., 65  
Goncharova O.Yu., 35, 233  
Gorelik J.B., 345, 364  
Gornostaeva E.S., 195  
Gorobtsov D.N., 69  
Gravis A.G., 27, 73, 300  
Grigoriev M.N., 296  
Grigoryev B.V., 77  
Gubaidullin A.A., 80  
Gubarkov A.A., 84  
Gubin D.I., 195  
Gudkovskikh S.V., 88  
Guideon A.A., 387, 399  
Gurulev A.A., 91  
Harris S.A., 409  
Hilimonyuk V.Z., 291  
Ihskov A.A., 84  
Ishkova Z.A., 160  
Ivanova I.K., 146  
Kalacheva L.P., 150  
Kalenova L.F., 163  
Kapralova V.N., 50, 152  
Kashutina E.A., 58  
Khairullina N.G., 407  
Khasanov M.K., 254  
Khitun O.V., 416  
Khodzher T.V., 65, 296, 412  
Khomutov A.V., 84, 250, 416  
Khvostov I.V., 321  
Kirov M.V., 88  
Kiyashko N.V., 156, 166  
Kleschin D.A., 317  
Kokin O.V., 269  
Kolunin V.S., 77, 160  
Kolyvanova S.S., 163  
Komarov I.A., 156, 166  
Kondakov V.V., 156  
Kondratyev V.G., 402  
Konovalov A.A., 170  
Konstantinov A.O., 177  
Kornienko S.G., 173  
Korostelev Yu.V., 265  
Korotkov E.A., 177  
Kozyreva E.A., 12  
Kravtsova V.I., 179  
Kulakova A.Yu., 93, 187  
Kurchatova A.N., 190  
Kuzmin G.P., 183, 432  
Lapkovskaya A.A., 195  
Lapteva E.M., 287  
Larin S.I., 199  
Larina N.S., 199  
Lashin V.V., 206  
Lashina N.V., 206  
Laukhin S.A., 199, 202, 420  
Leibman M.O., 250, 416  
Leshnevskaya E.F., 210  
Levadnaya D.A., 210  
Lobastova S.A., 40  
Lobotrosova S.A., 213  
Madygulov M.Sh., 135  
Magur M.G., 27  
Malchevskiy V.A., 117, 221, 258  
Malkova G.V., 217, 265  
Mamaeva N.L., 225  
Manakov A.Yu., 261  
Marakhtanov V.P., 229  
Marchenko Ju.L., 46  
Matyshak G.V., 35, 233  
Matyukhin A.G., 236  
Medvedkov A.A., 240  
Melnikov V.P., 243  
Miles V., 440  
Misaylov I.E., 247  
Molokitina N.S., 101  
Moskalenko N.G., 27, 300  
Mullanurov D.R., 250  
Musakaev N.G., 254  
Narushko M.V., 258, 372  
Nemkov A.G., 221  
Nesterov A.N., 261, 313  
Nyalin E.N., 117  
Oblogov G.E., 44, 265, 368  
Obzhirov A.I., 190  
Ogorodov S.A., 269  
Okunev S.N., 272  
Olenchenko V.V., 195, 276  
Onischuk N.A., 65  
Opokina O.L., 356  
Orekhov P.T., 265, 280, 304  
Orlov A.O., 91  
Orlov T.V., 50, 284  
Osadchaya G.G., 287  
Osokin A.B., 276  
Ospennikov E.N., 291  
Ovsyannikova V.S., 399  
Panchenko E.G., 50, 284  
Pavlunin V.B., 40  
Pendin V.V., 69  
Petrov S.A., 221, 225, 258, 309, 391, 395  
Pfeiffer E.-M., 1  
Pisarev A.D., 292  
Podborny E.E., 16  
Podenko L.S., 101  
Pogodaeva T.V., 296  
Polkin Vas.V., 65  
Polkin Vik.V., 65  
Ponomareva O.E., 27, 69, 73, 300  
Popov K.A., 304  
Potapov V.V., 195

- Preis Yu.I., 305  
 Pyak O.N., 395  
 Radionov V.F., 65  
 Renev E.P., 309  
 Reshetnikov A.M., 135, 261, 313  
 Rilo I.P., 317  
 Rivkina E.M., 5  
 Rodionova T.V., 179  
 Rogov V.V., 190  
 Romanov A.N., 321  
 Romanovsky V.E., 325  
 Rumyantseva Ya.V., 217  
 Ruzanov V.T., 329  
 Ruzov I.V., 97  
 Ryabogina N.E., 444  
 Sadkov S.A., 50, 284  
 Sadurtdinov M.R., 217, 333  
 Sakerin S.M., 65  
 Sannikov G.S., 337  
 Savelyev A.V., 206  
 Sedov S.N., 341  
 Seleznev A.A., 345  
 Semenov M.E., 146  
 Semenov V.P., 349  
 Shakirov R.B., 190  
 Shavlov A.V., 424  
 Shein A.N., 195  
 Sheinkman V.S., 292, 341, 428  
 Shesternev D.M., 183, 432  
 Shilova N.G., 199  
 Shilova Yu.E., 146  
 Shpolyanskaya N.A., 436  
 Shubina D.D., 69  
 Simonov O.A., 309, 353  
 Simonova E.O., 353, 372  
 Sizov O.S., 213  
 Skorbilin N.A., 272  
 Skvortsov A.G., 217, 333  
 Slagoda E.A., 190, 333, 356  
 Smirnova E.O., 117  
 Smulsky J.J., 360  
 Sokolov I.V., 424  
 Soldatov P.V., 364  
 Streletskaya I.D., 44, 368  
 Subbotin A.M., 62, 117, 221, 258,  
 309, 353, 372  
 Sudakova M.S., 333  
 Syromyatnikov I.I., 375  
 Tarhov M.O., 233  
 Timofeev V.N., 309  
 Tjulkov A.T., 77  
 Tomashunas V., 1  
 Trapeznikova O.N., 50  
 Tsarev A.M., 217, 333  
 Tsyrenzhapov S.V., 91  
 Tumel N.V., 287, 379  
 Ustinova E.V., 300, 383  
 Vaganov E.A., 412  
 Vakhnin I.S., 183  
 Vasilchuk Yu.K., 12  
 Vasiliev A.A., 44, 265, 368  
 Velikin S.A., 46  
 Victorov A.S., 50, 284  
 Yakimov A.S., 84, 210  
 Yurtaev A.A., 444  
 Zabolotnik P.S., 375  
 Zavodovsky A.G., 135  
 Zaytsev A.N., 387  
 Zengina T.Yu., 287  
 Zhang R.V., 432  
 Zheleznyak I.I., 91  
 Zheleznyak M.N., 131, 349  
 Zheludkova K.A., 317  
 Zhirkov A.F., 131  
 Zhuchenko N.A., 296  
 Zilitinkevich S.S., 138  
 Zinoviyev E.V., 142  
 Zotova L.I., 379  
 Zverev A.V., 50, 284  
 Alexandrovskiy A.L., 444  
 Абакумов Е., 1  
 Абрамов А.А., 5  
 Александровский А.Л., 8, 444  
 Алексеев С.В., 12  
 Алексеева В.А., 199  
 Алексеева Л.П., 12  
 Аминова Ю.Д., 444  
 Анцибор Ю., 1  
 Аржанников С.Г., 12  
 Архипов В.В., 269  
 Архипова М.В., 50  
 Баду Ю.Б., 16  
 Бажин А.С., 163  
 Бажин К.И., 46  
 Балюк Н.А., 407  
 Белова Н.Г., 20  
 Бердников Н.М., 27, 300  
 Березин П.В., 50  
 Бешенцев В.А., 24  
 Бляхарчук Т.А., 27, 300  
 Бобков Р.А., 31  
 Бобрик А.А., 35  
 Болдырева О.Ю., 80  
 Боме Н.А., 258  
 Бордонский Г.С., 38, 91  
 Булдович С.Н., 291  
 Быкова А.В., 40  
 Ваганов Е.А., 412  
 Васильев А.А., 44, 265, 368  
 Васильчук Ю.К., 12  
 Вахрин И.С., 183  
 Великин С.А., 46  
 Викторов А.С., 50, 284  
 Геннадиник В.Б., 54  
 Георгиади А.Г., 58  
 Герасимов А.Г., 62  
 Герасимова А.А., 62  
 Гидеон А.А., 387, 399  
 Голобокова Л.П., 65  
 Гончарова О.Ю., 35, 233  
 Горелик Я.Б., 345, 364  
 Горностаева Е.С., 195  
 Горобцов Д.Н., 69  
 Гравис А.Г., 27, 73, 300  
 Григорьев Б.В., 77  
 Григорьев М.Н., 296  
 Губайдуллин А.А., 80  
 Губарьков А.А., 84  
 Губин Д.И., 195  
 Гудковских С.В., 88  
 Гурулев А.А., 91  
 Дворников Ю.А., 84, 250, 416  
 Джуманджи В.А., 424  
 Долгих Г.М., 272  
 Доманская О.В., 93, 97, 187  
 Доманский В.О., 54, 93, 97  
 Драчук А.О., 101  
 Дроздов Д.С., 69, 105, 202, 243,  
 280, 420  
 Дубровин В.А., 105, 109, 333  
 Дудко Д.Н., 80  
 Дыдышко П.И., 113  
 Еланцев Е.В., 84  
 Еноктаева О.В., 117  
 Ерёмин И.И., 119  
 Ермохина К.А., 123  
 Ефремов В.Н., 127  
 Железняк И.И., 91  
 Железняк М.Н., 131, 349  
 Желудкова К.А., 317  
 Жирков А.Ф., 131  
 Жученко Н.А., 296  
 Заболотник П.С., 375  
 Заводовский А.Г., 135  
 Зайцев А.Н., 387  
 Зверев А.В., 50, 284  
 Зенгина Т.Ю., 287  
 Зилитинкевич С.С., 138  
 Зиновьев Е.В., 142  
 Зотова Л.И., 379  
 Иванова И.К., 146  
 Ишков А.А., 84  
 Ишкова З.А., 160  
 Калачева Л.П., 150  
 Каленова Л.Ф., 163  
 Капралова В.Н., 50, 152  
 Кашутина Е.А., 58  
 Киров М.В., 88  
 Кияшко Н.В., 156, 166  
 Клещин Д.А., 317  
 Козырева Е.А., 12



- Кокин О.В., 269  
 Колунин В.С., 77, 160  
 Колыванова С.С., 163  
 Комаров И.А., 156, 166  
 Кондаков В.В., 156  
 Кондратьев В.Г., 402  
 Коновалов А.А., 170  
 Константинов А.О., 177  
 Корниенко С.Г., 173  
 Коростелев Ю.В., 265  
 Коротков Е.А., 177  
 Кравцова В.И., 179  
 Кузьмин Г.П., 183, 432  
 Кулакова А.Ю., 93, 187  
 Курчатова А.Н., 190  
 Лапковская А.А., 195  
 Лаптева Е.М., 287  
 Ларин С.И., 199  
 Ларина Н.С., 199  
 Лаухин С.А., 199, 202, 420  
 Лашин В.В., 206  
 Лашина Н.В., 206  
 Левадная Д.А., 210  
 Лейбман М.О., 250, 416  
 Лешневская Е.Ф., 210  
 Лоботросова С.А., 213  
 Магур М.Г., 27  
 Мадыгулов М.Ш., 135  
 Майлз В., 440  
 Малкова Г.В., 217, 265  
 Мальчевский В.А., 117, 221, 258  
 Мамаева Н.Л., 225  
 Манаков А.Ю., 261  
 Марахтанов В.П., 229  
 Марченко Ю.Л., 46  
 Матышак Г.В., 35, 233  
 Матюхин А.Г., 236  
 Медведков А.А., 240  
 Мельников В.П., 243  
 Мисайлов И.Е., 247  
 Молокитина Н.С., 101  
 Москаленко Н.Г., 27, 300  
 Муллануров Д.Р., 250  
 Мусакаев Н.Г., 254  
 Нарушко М.В., 258, 372  
 Немков А.Г., 221  
 Нестеров А.Н., 261, 313  
 Нялин Е.Н., 117  
 Обжиров А.И., 190  
 Облогов Г.Е., 44, 265, 368  
 Овсянникова В.С., 399  
 Огородов С.А., 269  
 Окунев С.Н., 272  
 Оленченко В.В., 195, 276  
 Онищук Н.А., 65  
 Опокина О.Л., 356  
 Орехов П.Т., 265, 280, 304  
 Орлов А.О., 91  
 Орлов Т.В., 50, 284  
 Осадчая Г.Г., 287  
 Осокин А.Б., 276  
 Оспенников Е.Н., 291  
 Павлунин В.Б., 40  
 Панченко Е.Г., 50, 284  
 Пендин В.В., 69  
 Петров С.А., 221, 225, 258, 309,  
 391, 395  
 Писарев А.Д., 292  
 Погодаева Т.В., 296  
 Подборный Е.Е., 16  
 Поденко Л.С., 101  
 Полькин Вас.В., 65  
 Полькин Вик.В., 65  
 Пономарева О.Е., 27, 69, 73, 300  
 Попов К.А., 304  
 Потапов В.В., 195  
 Прейс Ю.И., 305  
 Пфайфер Е.-М., 1  
 Пяк О.Н., 395  
 Радионов В.Ф., 65  
 Ренев Е.П., 309  
 Решетников А.М., 135, 261, 313  
 Ривкина Е.М., 5  
 Рило И.П., 317  
 Рогов В.В., 190  
 Родионова Т.В., 179  
 Романов А.Н., 321  
 Романовский В.Е., 325  
 Рузанов В.Т., 329  
 Рузов И.В., 97  
 Румянцева Я.В., 217  
 Рябогина Н.Е., 444  
 Савельев А.В., 206  
 Садков С.А., 50, 284  
 Садуртдинов М.Р., 217, 333  
 Сакерин С.М., 65  
 Санников Г.С., 337  
 Седов С.Н., 341  
 Селезнев А.А., 345  
 Семенов В.П., 349  
 Семенов М.Е., 146  
 Сизов О.С., 213  
 Симонов О.А., 309, 353  
 Симонова Е.О., 117, 353, 372  
 Скворцов А.Г., 217, 333  
 Скорбилин Н.А., 272  
 Слагода Е.А., 190, 333, 356  
 Смутьский И.И., 360  
 Соколов И.В., 424  
 Солдатов П.В., 364  
 Стрелецкая И.Д., 44, 368  
 Субботин А.М., 62, 117, 221, 258,  
 309, 353, 372  
 Судакова М.С., 333  
 Сыромятников И.И., 375  
 Тархов М.О., 233  
 Тимофеев В.Н., 309  
 Томашунас В., 1  
 Трапезникова О.Н., 50  
 Тумель Н.В., 287, 379  
 Тюльков А.Т., 77  
 Устинова Е.В., 300, 383  
 Фага А.Н., 387  
 Федоров Р.Ю., 391  
 Федорова А.Ф., 150  
 Фишер Т.А., 391, 395  
 Фуфаева М.С., 399  
 Хайруллина Н.Г., 407  
 Харрис С.А., 409  
 Хасанов М.К., 254  
 Хвостов И.В., 321  
 Хилимонюк В.З., 291  
 Хитун О.В., 416  
 Ходжер Т.В., 65, 296, 412  
 Хомутов А.В., 84, 250, 416  
 Царев А.М., 217, 333  
 Цыренжапов С.В., 91  
 Чекрыгина С.Н., 420  
 Чжан Р.В., 432  
 Шавлов А.В., 424  
 Шакиров Р.Б., 190  
 Шеин А.Н., 195  
 Шейнкман В.С., 292, 341, 428  
 Шестернев Д.М., 183, 432  
 Шилова Н.Г., 199  
 Шилова Ю.Э., 146  
 Шполянская Н.А., 436  
 Шубина Д.Д., 69  
 Эзау И., 440  
 Юргаев А.А., 444  
 Якимов А.С., 84, 210

## Научное издание

Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы

Материалы международной конференции

г. Тюмень, 2–5 июля 2015 г.

Редактор	Д.С. Дроздов
Верстка	Р.Ю. Федоров
Художник	А.А. Мельникова
Редактор переводов	Н.С. Молокитина

ЛР ИД № 03056 от 18.10.2000. Подписано в печать 08.06.2015. Печать офсетная.

Бумага ВХИ. Усл. п.л. 60. Уч.-изд. л. 64,5. Формат 6х90 1/8.

Гарнитура «Times New Roman». Тираж 250 экз.

Заказ №

ООО Издательство "Эпоха".

625002, Тюмень, ул. Свердлова, 25; <http://epoch-media.ru>

Отпечатано в ЗАО «Полиграфмаркет».

625026, Тюмень, ул. Малыгина, 75; <http://www.poligrafmarket.ru/>

ISBN 978-5-9906392-0-1



9 785990 639201

ББК 26.3+26.2  
УДК 551.34; 502.3; 624.139  
А 826



## Для заметок





Тюменский научный центр СО РАН (ТюмНЦ СО РАН), Тюмень  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень

Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch RAS, Tyumen, Russia  
Earth Cryosphere Institute SB RAS (ECI SB RAS), Tyumen, Russia

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

2015  
ТЮМЕНЬ



Арктика, Субарктика:  
мозаичность, контрастность,  
вариативность криосферы

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

2015  
ТЮМЕНЬ



Арктика, Субарктика:  
мозаичность, контрастность,  
вариативность криосферы

## ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ



Тюменский научный центр СО РАН



Тюменский государственный  
нефтегазовый университет



Институт криосферы Земли СО РАН



ООО НПО «Фундаментстройаркос»



Научный совет по криологии Земли РАН



ОАО «Фундаментпроект»



Правительство Ямало-Ненецкого  
автономного округа



Сибирское отделение РАН



Правительство Тюменской области,  
Губернская Академия

