

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ТЕЗИСЫ
КОНФЕРЕНЦИИ
«Природные процессы в полярных регионах Земли
в эпоху глобального потепления»

9 – 11 ОКТЯБРЯ 2017 Г.

Г. СОЧИ

Конференция проводится по результатам исследований, полученным при выполнении:

- Целевой научно-технической программы Росгидромета «Научно-исследовательские, опытно-конструкторские, технологические и другие работы для государственных нужд в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды» на 2014 – 2016 годы по направлениям: Исследования климата, его изменений и их последствий. Исследование гидрометеорологических процессов в Мировом океане, морях и морских устьях рек России, Арктике и Антарктике, в том числе опасных и экстремальных морских явлений. Модели и технологии морских прогнозов и расчетов.
- Программы Президиума РАН № 18 «Природные катастрофы и адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики». Направление 3 «Механизмы природных катастроф в атмосфере и криосфере и адаптационные процессы в этих природных средах».
- Программы Отделения наук о Земле РАН № 12 «Процессы в атмосфере и криосфере как факторы изменения природной среды».

Конференция проводится при финансовой поддержке: Федерального агентства научных организаций и гранта РФФИ - 17-05-20550г.

Содержание

И.И. Борзенкова. Климат и окружающая среда Арктического бассейна в теплые эпохи плейстоцена.	7
Е.Н.Голубева, Г.А.Платов, В.В.Малахова, М.В.Крайнева. Влияние вариаций атмосферной динамики и речного стока на формирование гидрологического режима и состояние криолитозоны шельфовых морей Восточной Арктики.	8
В.А. Семенов, М.И. Варенцов. Региональный отклик атмосферной циркуляции на сокращение площади морских льдов как причина аномальных зимних морозов.	9
Е.С. Астафьева, В.А.Семенов. Связь изменений ледовитости арктических морей с приземной температурой и атмосферной циркуляцией по данным наблюдений и модельных экспериментов.	10
Д.С. Дроздов, Г.В. Малкова, В.Е. Романовский, Д.Н. Горобцов, Е.В. Устинова, Ю.В. Коростелев, Д.А. Стрелецкий, А.Г. Гравис, Н.М. Бердников, П.Т. Орехов Цифровые карты как основа оценки современных преобразований в криолитозоне.	11
А.Г. Георгиади, Е.А. Кашутина, И.П. Милюкова. Многолетние изменения составляющих геостока крупнейших арктических рек России.	13
В.В. Попова, Е.А.Черенкова, Т.Б.Титкова, А.В.Сосновский, Е.Д. Бабина, П.А. Морозова, А.В.Ширяева. Аномалии снежного покрова на севере Евразии на рубеже XX-XXI в.	15
В.П. Епифанов, Н.И. Осокин. Акустико-механическая стратиграфия снежного покрова: анализ результатов исследований на архипелаге Шпицберген.	16
А.А. Галанин. Эолово-флювиальная концепция формирования криолитозоны Восточной Сибири	18
О.А. Анисимов, М.А. Белолуцкая, Ю.И. Жегусов, Е.Л. Жильцова, А.С. Пономарева, К.О. Шаповалова, М.А. Шишкина. Наблюдаемые и когнитивные индикаторы изменения климата: сравнительный анализ северо-западного региона и Якутии.	20
Г.В. Ильин, И.С. Усягина, Д.А. Валуйская. Результаты радиоэкологических исследований фьордов Шпицбергена (по материалам экспедиции НИС «Дальние Зеленцы», 2015 г.).	21
Г.М. Воскобойников, Е.Ю. Зубова. Альгологические исследования на побережье Западного Шпицбергена.	23
Э.П. Зазовская, С.В. Горячкин, В.А. Шишков, Н.А. Мергелов, А.В. Долгих. Радиоуглеродные исследования органического вещества почв	

высоких широт: результаты и перспективы	24
И.И. Лаврентьев, А.Ф. Глазовский, Ю.Я. Мачерет, И.О. Марчук. Распределение теплого и холодного льда в ледниках на Земле Норденшельда, Шпицберген, по данным радиозондирования.	25
А.В. Сосновский, Н.И. Осокин, Г.А. Черняков. Динамика снегозапасов в лесу и поле при климатических изменениях.	26
В.П. Шевченко, А.П. Лисицын, Д.П. Стародымова, А.А. Виноградова, В.Б. Коробов, Е.И. Котова, И.А. Немировская, А.Н. Новигатский, О.С. Покровский, Н.В. Политова. Снежный покров Арктики как природный архив рассеянного осадочного вещества, поступившего из атмосферы.	27
Сократова И.Н. Полярные исследования в рамках программ Президиума РАН: результаты и перспективы.	28
А.В.Козачек, А.А.Екайкин, Х.К.Стеен-Ларсен, А.Ландэ. Исследования изотопного состава водяного пара над поверхностью океана во время Антарктической кругосветной экспедиции АСЕ (2016-2017).	29
В.М. Котляков, А.Ф. Глазовский, М.Ю. Москалевский. Динамика Антарктического ледникового покрова в эпоху потепления.	30
С.В. Попов, С.С. Пряхин, Д.П. Бляхарский, А.Д. Белков, В.Л. Кузнецов, В.Л. Мартьянов, В.В. Лукин, М.П. Кашкевич, С.В. Тюрин. Основные результаты гляцио-геофизических работ в районе отечественных станций Мирный и Прогресс в сезон 62-й РАЭ (2016/17 г.).	31
С.В. Попов. Вертикальный профиль диэлектрической проницаемости ледника в районе станции Восток (Восточная Антарктида) по данным наклонных зондирований.	32
В.П. Епифанов. Формирование, свойства и влияние промежуточного слоя на режим движения ледников	33
Д.Д. Бокучава, В.А. Семенов. Эволюция приземной температуры в Северном полушарии в XX веке по данным реанализов NCEP 20th Century Reanalysis, ERA 20C, CERA 20C.	34
А.О. Даниленко, О.С. Решетняк, М.Ю. Кондакова, Л.С.Косменко. Тенденции многолетней изменчивости химического состава речных вод материковой части Российской Арктики в условиях климатических изменений.	35
Г.В. Малкова, М.Р. Садуртдинов, А.М. Царев, А.Г. Скворцов. Современное состояние многолетнемерзлых пород на Европейском Севере.	36
А.М. Царев, Г.В. Малкова, М.Р. Садуртдинов, А.Г. Скворцов, М.С. Судакова. Особенности залегания многолетнемерзлых пород в дельте р.Печора.	37

И.А. Немировская, З.Ю. Реджепова. Углеводороды в водах и осадках во фронтальной зоне река-море в арктических морях.	38
И.Д. Стрелецкая, А.А. Васильев, Г.Е. Облогов. Метан в подземных льдах и мерзлых отложениях полуострова Ямал и шельфе Карского моря.	39
Д.Ю. Большиянов, М.Н. Григорьев, В. Шнайдер, Г. Штоф. Мерзлота и метан в районе дельты р. Лены.	41
В.В. Малахова, Г.А. Платов, Е.Н. Голубева, А.В. Елисеев. Оценка влияния возможных изменений климата на состояние субаквальных газогидратов в Арктике.	42
А.Н. Хименков, Д.О. Сергеев, Г.С. Типенко. Локальный прогрев толщи многолетнемерзлых пород, как одна из причин образования воронок газового выброса в криолитозоне.	43
М.Н. Григорьев, Г.Т. Максимов. Формирование и распространение многолетней мерзлоты под арктическими лагунами.	44
А.О. Кузнецова, А.С. Афонин, Я.В. Тихонравова, М. Нарушко, Е.А.Слагода. Ботанический состав голоценового торфа хасырея севера Гыданского полуострова.	45
М.С. Судакова, М.Р. Садуртдинов, А.М. Царев, А.Г. Скворцов, Г.В. Малкова. Определение объёмной влажности активного слоя с помощью георадиолокации.	46
Я.В. Тихонравова, Е.А. Слагода. Структура морского льда в прибрежной зоне Байдарацкой губы.	47
С.А. Огородов, Н.Н. Шабанова, Д.М. Алексютина, А.В. Баранская, Н.Г. Белова. Динамика берегов Печорского и Карского морей в эпоху глобального потепления.	49
Е.А. Слагода, Г.В. Симонова, Я.В. Тихонравова, А.О. Кузнецова. Проблемы датирования мерзлых отложений острова Белый Карского моря.	51
Е.В. Устинова, О.Е. Пономарева, Н.М. Бердников, А.Г. Гравис, К.С. Кузьменко. Изменения геокриологических и ландшафтных условий в северной тайге Западной Сибири, нарушенных линейным строительством.	52
И.В. Чеснокова, Д.О. Сергеев, А.В. Морозова, А.С. Войтенко. Влияние геокриологических процессов на хозяйственные объекты России в XXI веке.	54
И.Д.Стрелецкая, Р.Н. Курбанов, В.В.Рогов, Н.А.Таратунина, Т.А.Янина. Следы неоплейстоценовой мерзлоты в Нижнем Поволжье.	55
Ю.Н. Грибченко, Е.И. Куренкова, В.Е. Тумской. Воздействие криогенных процессов на формирование культурных слоев позднепалеолитических	

стоянок центральных районов Восточно-Европейской равнины.	56
М.А. Фаустова, В.В. Писарева. Природная обстановка в Арктике в крупные потепления начала квартера и переходного периода к голоцену.	58
В.С. Шейнкман. Оледенение Сибири и проблема пластовых залежей подземного льда	60
И. Е. Мисайлов, М. Н. Железняк. Геокриологические исследования на участке Буранный Томторского месторождения.	61
А.А. Васильев, И.Д Стрелецкая, Г.Е. Облогов. Новообразование мерзлоты на низких аккумулятивных лайдах Карского моря.	62

Климат и окружающая среда Арктического бассейна в теплые эпохи плейстоцена

И.И. Борзенкова

Государственный Гидрологический институт

Термический режим в высоких широтах и как следствие его изменения – характеристики морских льдов – являются прекрасными индикаторами состояния глобальной климатической системы. Быстрое сокращение площади морских льдов в Арктике за последние несколько десятилетий обусловлено их реакцией на повышение средней глобальной температуры, которое по данным 5 го доклада МГЭИК повысилась на $0.8 \pm 0.2^\circ\text{C}$ по сравнению с концом 19 столетия (IPCC, 2013). Как показали спутниковые данные, зимняя (максимальная за год) площадь морского льда в начале марта 2017 года была самой минимальной за последние 38 лет. По данным Национального центра данных по снегу и льду США с октября 2016 года по февраль 2017 года зимняя температура воздуха над Арктическим бассейном была на 2.5°C , а над Баренцевым морем на 5°C выше климатической нормы (<http://stormnews.ru/archives/39848>). Эти показатели уже весьма близки к тем, которые были характерны для теплых периодов сравнительно близких к нашему времени климатических оптимумов голоцена. Из палеоклиматических реконструкций известно, что во время потеплений голоцена и позднего плейстоцена изменялась как площадь морских льдов в Арктическом бассейне и их толщина, а также и природная среда (прежде всего, растительность на побережье бассейна). Для трех теплых периодов: оптимума средних веков, около 10-11 века н.э., оптимума голоцена около 6-5 тыс.л.н. и оптимума последнего межледниковья, около 125-127 тыс. лет л.н. глобальная температура превышала температуру конца 19 столетия на 0.5°C , $1.2 \pm 0.5^\circ\text{C}$ и на $1.5 \pm 0.5^\circ\text{C}$ соответственно. Из исторических данных известно, что во время теплой аномалии средних веков ледовые условия в Северной Атлантике способствовали развитию мореплавания в этом районе и даже создания поселений на побережье Гренландии и Северной Америки. По данным Фандера и коллег (Funder et al., 2011) минимальное количество льда в Арктическом бассейне отмечалось между 8500 и 6000 лет назад, при этом ледяной покров в Гренландии отступал вглубь континента на 1000 км. Авторы статьи предполагают, что в сомкнутый ледяной покров, возможно, отсутствовал в Арктическом бассейне в летнее время, и оставался только вблизи полюса. Кислородно-изотопный анализ Гренландского керна из скважины NEEM (Merz et al., 2016), палеонтологический анализ глубоководных кернов из высоких широт Северной Атлантики, показал, что температуры поверхности воды во время изотопной подстадии 5e (земское, микулинское потепление в континентальном разрезе), 125-127 тыс. лет л.н. превышали современные не менее чем на 5°C , а площадь морских льдов в районе Гренландии значительно сокращалась. Во время этого потепления зимняя граница льдов в арктическом бассейне проходила на 800 км севернее по сравнению с современной. Берингов пролив был свободен ото льда, а арктический бассейн имел минимальную площадь льдов в летнее время. Северная граница древесной растительности смещалась к северу примерно на 600 км, на побережье исчезала типичная тундровая растительность.

Модельные оценки, сделанные с применением моделей CCSM3 и CCSM4 (Community Climate System Model), где в качестве граничных условий были использованы палеоклиматические реконструкции для потепления около 125-127 тыс. лет л.н., показали значительное сокращения площади многолетних льдов в Арктическом бассейне и появление древесной растительности на побережье. Эти материалы имеют непосредственное значение для оценки возможных изменений климат и природной среды в Арктическом бассейне при превышении глобальной температуры на 1.5°C , которая принята Парижским соглашением по климату в качестве граничного значения.

Влияние вариаций атмосферной динамики и речного стока на формирование гидрологического режима и состояние криолитозоны шельфовых морей Восточной Арктики

Е.Н.Голубева, Г.А.Платов, В.В.Малахова, М.В.Крайнева

*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
Новосибирск, Россия*

Основой разрабатываемой системы оценки состояния вод шельфовой зоны Восточной Арктики является комплекс вложенных трехмерных численных моделей, разработанный ВИБМиМГ СО РАН, включающий региональные модели динамики океана и морского льда различной степени пространственной детализации (от 50 до 5 км) с возможностью уточнения процессов в шельфовой зоне (с использованием сеточного разрешения до 400м).

Результаты трехмерного моделирования с использованием данных атмосферного реанализа NCEP/NCAR восстанавливают пространственно-временную картину изменчивости водных масс и морского льда Северного Ледовитого океана (СЛО) и морей шельфовой зоны. Использование встроенных моделей позволяют провести уточнение наиболее интересных процессов. На основе численного моделирования исследуются возможные причины известного из данных наблюдений повышения температуры вод придонного слоя шельфовых морей. Среди возможных причин появления аномалий придонной температуры в шельфовой области в настоящей работе рассматриваются: а) возможность затока в шельфовую зону теплых вод атлантического слоя СЛО, траектория которых проходит по границе шельфовой зоны, б) перераспределение водных масс шельфовой зоны, вызванное сменой режимов циркуляции атмосферы; в) формирование аномалий температуры, обусловленных тепловым стоком рек.

Результаты модельных расчетов показывают, что а) в летний период динамика атмосферы является определяющим фактором в формировании циркуляции водных масс шельфовой зоны; б) циклонический режим циркуляции с преобладанием северо-западных ветров в летний период может приводить к передаче тепла в придонный слой шельфовых морей; в) эпизодическое появление в модели более теплой воды в придонном слое моря на внешней части шельфа, граничащей с материковым склоном (глубины 50-150 м), вызвано контактом с теплыми и солеными водами атлантического слоя, располагающегося в СЛО на глубинах от 150 до 1000 м; г) возможным механизмом формирования аномалий температуры придонного слоя мелководной прибрежной части моря Лаптевых является тепловой сток рек.

Анализируется влияние повышения температуры вод придонного слоя в области мелководного шельфа на усиление процесса деградации подводной мерзлоты региона.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ 15-05-02457, 17-05-00396, 17-05-00382А

Региональный отклик атмосферной циркуляции на сокращение площади морских льдов как причина аномальных зимних морозов

В.А. Семенов^{1,2}, Варенцов М.И.³

¹Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

²Институт географии РАН

³МГУ имени М.В. Ломоносова

На фоне рекордно высоких глобальных температур в начале XXI века в Северной Евразии и в частности на европейской территории России отмечается увеличение частоты формирования продолжительных аномально холодных погодных режимов в зимний период. Ряд ранее выполненных исследований с использованием глобальных моделей атмосферы выявил связь между отрицательными аномалиями температуры и сокращением арктических морских льдов. Механизм такой связи до сих пор окончательно не определён. Основной гипотезой является крупномасштабный отклик атмосферы, связанный с генерацией аномальной волновой активности. Для исследования возможности регионального отклика нами были выполнены численные эксперименты с региональной моделью атмосферы COSMO для региона Северной Евразии Восточной Арктики. В этих экспериментах как граничные условия на нижней границе атмосферы задавались концентрации морских льдов для зим с низкой и высокой ледовитостью в Баренцевом море. Такие эксперименты проводились для условий интенсивной и слабой зональной циркуляции атмосферы. Модель воспроизвела антициклонический отклик атмосферной циркуляции и формирование аномально холодных режимов при сокращении площади морских льдов в Баренцевом море. Такой отклик проявляется в модели только при условии слабой зональной циркуляции. Полученные результаты доказывают существование механизма регионального отклика атмосферной циркуляции на сокращение площади морских льдов и указывают на важную роль фонового зонального потока в формировании наблюдавшихся в последнее десятилетия отрицательных аномалий температуры.

Связь изменений ледовитости арктических морей с приземной температурой и атмосферной циркуляцией по данным наблюдений и модельных экспериментов

Е.С. Астафьева¹, В.А. Семенов^{1,2}

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН

Для выявления связи между концентрацией льда в арктических морях, приземной температурой и атмосферным давлением в Северном полушарии (СП) проведен корреляционный анализ среднесезонных значений площади морских льдов в арктических морях, приземной температуры над сушей СП и атмосферного давления. Для анализа использовались данные Центра Гадлея (Великобритания) по концентрации морских льдов (HadISST1), аномалиям приземной температуры (CRUTEM4), и данные реанализа NCEP/NCAR (приземная температура, атмосферное давление). Для анализа было выбрано два периода: 1953-2012 гг., так как с 50-х годов наблюдения за ледовой обстановкой стали достаточно регулярными, а также появились данные дрейфующих буев, и 1979-2012 гг., когда стали доступны спутниковые измерения концентрации морских льдов.

Кроме ожидаемых связей изменений концентрации морского льда с температурой в субарктических регионах за тот же сезон над прилегающими территориями были обнаружены дальние связи, обусловленные влиянием общей циркуляцией атмосферы и ее отдельных паттернов (в частности Североатлантического колебания - САК, и Арктической осцилляции - АО). Это хорошо согласуется с исследованиями других авторов, которые указывают, что уменьшение или отрицательная аномалия площади арктического морского льда в конце лета приводит к аномалии зимней атмосферной циркуляции, напоминающей отрицательную фазу САК или АО и, следовательно, к холодным зимам в средних широтах. Также были обнаружены значимые корреляции со сдвигом по времени, что свидетельствует о двухсторонней связи между температурой и морским льдом. Для прояснения причинно-следственных связей были использованы данные численных экспериментов с моделью общей циркуляции атмосферы ECHAM5 с предписанными граничными условиями (температура поверхности океана и концентрации морских льдов по данным HadISST1) для периода 1979 — 2012 гг. Произведено сравнение данных модели, наблюдений и реанализа NCEP/NCAR и оценена успешность воспроизведения моделью изменчивости среднесезонных вариаций температуры и давления.

Цифровые карты как основа оценки современных преобразований в криолитозоне

Д.С.Дроздов^{1,5}, Г.В.Малкова^{1,5}, В.Е.Романовский^{1,4,7}, Д.Н.Горобцов², Е.В.Устинова^{1,5},
Ю.В.Коростелев¹, Д.А.Стрелецкий^{1,6}, А.Г.Гравис¹, Н.М.Бердников¹, П.Т.Орехов¹

¹Институт криосферы земли СО РАН

²Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ–РГГРУ)

³Тюменский научный центр СО РАН

⁴Тюменский государственный университет,

⁵Тюменский индустриальный университет

⁶Department of Geography, George Washington University, Washington, D.C.

⁷Geophysical Institute, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska

Природные и природно-техногенные геосистемы криолитозоны контролируются взаимодействием геологической среды с внешними оболочками Земли, прежде всего с атмосферой. Возрастающая ветвь глобальных климатических колебаний фиксируется и по сей день. Замедление роста температуры как для воздуха, так и для горных пород, зарегистрированное на рубеже 20 и 21 веков, не было, как предполагалось ранее, верхней частью синусоиды. Контроль развития ситуации требует наблюдений.

Хорошо изученные территории зоны вечной мерзлоты России можно рассматривать как «ключевые участки», являются оригинальными «ключевыми областями», данные о которых можно экстраполировать и интерполировать с использованием геосистемного подхода. Соответствующая карта (или картографическая модель) обязана для любой точки территории с заданной точностью и надежностью предоставлять информацию о фоновых, текущих и прогнозных природных и техногенных условиях. Режимные наблюдения за криолитозоной и смежными средами обеспечивают итеративную корректировку карт-моделей.

Общие тенденции изменения климатических параметров неблагоприятны для существования и сохранения многолетнемерзлых толщ. Это хорошо видно на примере Западной Сибири. Здесь цепочка режимных мерзлотных наблюдательных площадок пересекает природно-климатические зоны от северной тайги до высокой арктической тундры. На всех на них зафиксировано увеличение среднегодовых температур воздуха и грунтов, увеличение толщины снежного покрова. Следующее за этим увеличение толщины деятельного слоя ведёт в северной тайге и лесотундре к массовому опусканию кровли многолетнемерзлых толщ,

Согласно прогнозам моделей, в северных регионах России, включая Ямал, среднегодовая температура воздуха может возрасти на 1,5...2,5°C, 2030 году, на 4°C к середине 21-го века, а к концу 21 века возможно превысит 5°C! В то же время прогнозируется увеличение количества осадков на 10-30% к 2030 году, в т.ч. к и увеличению снежного покрова, что дополнительно усилит оттаивание мерзлых толщ. В итоге это значительно снизит прочность грунтов и общую геоэкологическую устойчивость ландшафтов. Уже сейчас для криолитозоны севера Западной Сибири зарегистрировано снижение несущей способности грунтов как основания сооружений на 5-30%. Максимальное уменьшение несущей способности соответствует дуге вдоль основных городов региона (Салехард, Надым, Новый Уренгой и далее к Норильску). Это указывает на то, что в зданиях, построенных ~ 25-40 лет назад с запасом прочности 1,2-1,4, резерв запаса прочности по грунту почти исчерпан, потому что температуры минеральных пород основания приблизились к 0°C. На южной границе криолитозоны происходит оттаивание островов вечной мерзлоты под торфяниками и буграми пучения. Хотя эти острова мерзлоты и не велики, но для линейных сооружений (дороги, трубопроводы) их оттаивание представляет значительную опасность.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 14-05-00956, 15-55-71004\15, 16-05-00249, 16-45-890257-ЯНАО), РНФ (№ 16-17-00102), международных программ TSP,

CALM, GTN-P, PEEX, SWIPA, GCW, администрации ЯНАО, предприятий ГазпромДобычаНадым, ГазпромДобычаУренгой, Нортгаз.

Многолетние изменения составляющих геостока крупнейших Арктических рек России

*Георгиади А.Г., Кашутина Е.А., Милюкова И.П.
Институт географии РАН*

На основе разностно-интегральных кривых исследованы долговременные фазы изменений составляющих условно-естественного геостока (стока воды, тепла и расходов взвешенных наносов) крупнейших арктических рек России в период инструментальных наблюдений (1930-1940-е – 2010-е гг.). Оценены их характеристики и влияние на них антропогенных факторов.

1. Выявлены долговременные фазы пониженного и повышенного стока воды Оби, Енисея и Лены в их замыкающих створах до устьев. Их продолжительность изменяется от 20 до 50 лет. Фаза пониженного стока началась с 1930-1940-х гг., а сменившая ее фаза повышенного стока, которая продолжается до последних лет, с 1970-1980-х гг. Годовой и сезонный сток воды в течение фаз их повышенных и пониженных значений заметно отличается друг от друга. Разница в среднем составляет 10-20%, а наибольших значений (40%) она достигает на Енисее в зимний сезон.

Антропогенный фактор существенно снижает сток половодья (в результате внутригодового регулирования стока водохранилищами) и в меньшей степени годовой сток (за счет безвозвратного изъятия воды на заполнение водохранилищ, дополнительного испарения с их акваторий, безвозвратного водопотребления). Он значительно увеличивает сток зимнего сезона из-за сбросов воды из водохранилищ, в основном, для выработки электроэнергии в этот период.

Период интенсивного антропогенного воздействия совпал с периодом повышенного годового и сезонного стока, обусловленного природно-климатическими факторами, что привело к росту гидрологических характеристик на каждой из рек. При этом наибольшее увеличение среднего многолетнего стока за эти периоды произошло на Енисее и Лене. Как природно-климатические, так и антропогенные факторы оказывают на зимний сток однонаправленное воздействие, приводя к его увеличению, а в случае со стоком половодья и года они действуют разнонаправленно. В результате преобладающего влияния на сток половодья Енисея и Оби антропогенных факторов он снижается (наиболее ощутимо на Енисее). Во всех остальных случаях преобладающее влияние природно-климатических факторов приводит к росту стока.

2. В многолетних изменениях условно естественного теплового стока и температуры воды Оби, Енисея и Лены с 1930-х гг., выявляются две основные долговременные фазы. Фаза их пониженных значений, начавшаяся в 1930-1940-е гг. и продолжавшаяся 35-55 лет, сменилась в 1970-1980-х гг. фазой их повышенных значений (на Енисее она началась в 1990-е гг.). Разница в тепловом стоке контрастных фаз достигает на Енисее 20%. Наибольшие изменения стока тепла антропогенный фактор внес на Енисее, снизив его в период своего интенсивного воздействия на 12%.

3. Многолетние изменения условно-естественных годовых расходов воды взвешенных наносов Енисея и Лены также характеризуются двумя основными долговременными фазами, которые сменили одна другую в 1970-1980-х годах в той же последовательности, что и сток воды и тепла. Характер же многолетних изменений расходов взвешенных наносов Оби более сложен. Разница в расходах взвешенных наносов между контрастными фазами наиболее заметна на Лене, достигая 40%, тогда как на Енисее она существенно ниже (10%). Антропогенный фактор наиболее значительно уменьшает расходы взвешенных наносов Енисея, тогда как его влияние на Оби и Лене незначительно.

4. Долговременные фазы пониженного и повышенного годового и сезонного стока воды, температуры воды и стока тепла Оби, Енисея, Лены, а также годовых расходов воды

взвешенных наносов Енисея и Лены характеризуются временной сопряженностью с изменениями макромасштабной атмосферной циркуляции, выраженной рядом известных индексов: повторяемости западной формы атмосферной циркуляции Г.Я. Вангейгема (W), северо-атлантического (NAO) и арктического (АО) колебания. Они определены для зимнего сезона, играющего главную роль в формировании стока рассматриваемых рек. Фазы повышенных и пониженных значений этих индексов, происходящих практически синхронно, отражают фазы усиления и ослабления интенсивности зонального переноса в атмосфере, что оказывают заметное влияние на сток воды и тепла этих рек. Так, фаза пониженных значений индексов, начавшаяся с 1920-1930-х гг., совпадает с фазой похолодания климата, что приводит к фазе пониженного стока воды, тепла и температуры воды Оби, Енисея и Лены, а также расходов взвешенных наносов Енисея и Лены. Фаза их повышенных значений, наступившая в 1970-1980-е гг., сопряжена с современной фазой потепления климата, что сопровождается повышенным стоком воды и тепла на Оби, Енисее и Лене и расходов взвешенных наносов на Енисее и Лене.

Авторы признательны Л.М. Бауэру (Laurens M. Bouwer) из Института исследований окружающей среды, факультета наук о Земле и Жизни, Свободного университета, Амстердам, Голландия), В.В. Иванову (ААНИИ) и Д.В. Магрицкому (МГУ) за любезно предоставленные данные.

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 при поддержке РФФИ, грант 17-05-00948.

Аномалии снежного покрова на севере Евразии на рубеже XX-XXI в.

*В.В. Попова, Е.А. Черенкова, Т.Б. Титкова, А.В. Сосновский, Е.Д. Бабина, П.А. Морозова,
А.В. Ширяева.*

Институт географии РАН

На фоне продолжающегося с конца 1960-х гг. тренда зимней аккумуляции снега в последнее десятилетие в изменчивости этого параметра наблюдаются существенные аномалии обоих знаков. Как правило, они имеют региональный характер, но нередко оказывают заметное влияние на гидрологический режим крупных рек, приводя к аномальным весенним паводкам или сокращению стока, примером которого является маловодье на Верхней и Средней Волги в 2014- 2015 гг.

Изучение многолетних изменений параметров снежного покрова (толщины, водного эквивалента снега, сроков его установления/разрушения и площади распространения) позволяет выявить пространственные и частотно-временные закономерности повторяемости аномалий снежного покрова и их территориальной сопряженности на рубеже XX-XXI вв. Для получения адекватных оценок проводится сравнение данных наблюдений на метеостанциях и в результате маршрутной снегосъемки, а также реанализа ERA-Interim, спутниковых измерений и данных моделирования MPI-ESM-LR, HadGEM2-ES.

Характеристики связи аномалий снежного покрова с колебаниями температуры и крупномасштабной атмосферной циркуляции, полученные на основе множественной регрессионной зависимости, показывают, что в формировании аномалий снежного покрова участвует комплекс факторов. При этом, в части случаев такие аномалии можно связать с процессами глобального потепления, а некоторые формируются как отклик на внутреннюю климатическую изменчивость.

Акустико-механическая стратиграфия снежного покрова: анализ результатов исследований на архипелаге Шпицберген

В.П. Епифанов¹, Н.И. Осокин²

¹*Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского РАН*

²*Институт географии РАН*

Исследована тонкая структура спектров акустической эмиссии, возникающей при контактном разрушении снега в разновозрастных слоях снежного покрова (Шпицберген) при индентировании наконечниками простой и сложной формы. Использован комплексный подход, основанный на регистрации акустического сигнала, определении твердости снега, размеров ледяных зерен, температуры, плотности, а также акустических спектров в рабочем диапазоне от 15 до 20000 Гц. Для расшифровки акустических спектров применена линейная цепочечная модель, которая связывает макроскопические и микроскопические характеристики снега (акустическую сжимаемость снега и жесткость связи). В рамках модели рассчитаны собственные резонансные частоты и сравнены с экспериментально определенными значениями для ледяных кристаллов, образующих структуру и текстуру разновозрастных снежных слоев. Удовлетворительное согласие теории с экспериментом подтвердило пригодность акустико-механического метода и портативной аппаратуры, реализующую этот метод, для исследований формирования и эволюции снежного покрова на горных склонах. Показано, что в слое снежного покрова может формироваться анизотропная текстура с вертикальной ориентацией.

Под снегом понимается природное упруго-вязкопластическое тело с открытой пористой структурой, образованной сmerzшимися между собой кристаллами льда. Под структурой снега понимается форма и размер слагающих снежную толщу ледяных кристаллов. Под текстурой снега понимаются особенности строения разновозрастных слоев снежного покрова, обусловленные преимущественной ориентацией в пространстве и расположением кристаллов льда (зерен), жесткость связей между ними, а также объёмом и ориентацией пор в снежном слое и наличием ледяных прослоек.

Ранее определение структуры и текстуры снега носили описательный качественный характер. Нами предложен количественный параметр структуры (акустическая сжимаемость), устанавливающий связь между макро- и микрохарактеристиками снега: акустической сжимаемостью, плотностью, температурой и размером подвижных структурных элементов (например, радиус ледяных кристаллов) и их резонансной частотой. Эти характеристики определяются экспериментально или рассчитываются по экспериментальным данным [Епифанов, 2014].

Снежный покров рассматривается как неоднородная среда (слоистая конструкция), состоящая из разновозрастных слоев, обладающих разной структурой и текстурой, с учетом предыстории их формирования. Для упрощения рассмотрение физико-механических и прочностных свойств снега ограничено разновозрастным слоем. Даже для этого, казалось бы, простого случая, экспериментально установлена нелинейная зависимость динамического модуля от плотности [Епифанов, Осокин 2014]. Этот экспериментальный факт имеет в снеговедении принципиальное значение, поскольку исключает возможность использования плотности как параметра состояния снега. Причиной нелинейности, то есть зависимости характеристик снега от амплитуды напряжений и гистерезис деформационной кривой являются пластические деформации кристаллической решетки льда.

Для решения поставленных задач использован комплексный подход, основанный на применении акустико-механического и других инструментальных методов для измерения физико-механических характеристик и твердости снега [Епифанов, Осокин, 2009, 2010].

Исследованы амплитудно-частотные спектры разрушения снега в разновозрастных слоях снежного покрова в диапазоне частот от 25 Гц до 20 кГц с целью количественной оценки размеров кристаллов льда, образующих снежный каркас, и выявления анизотропии его текстуры. Установлена тонкая структура акустических спектров. Получено согласие расчетных значений резонансов с экспериментально наблюдаемыми значениями, что открывает в перспективе возможность применять разработанный подход для изучения эволюции структуры и текстуры в разновозрастных слоях снежного покрова на горном склоне.

Использована улучшенная цепочечная модель и точное решение дифференциального уравнения гармонического осциллятора (Епифанов, 2014). В результате, во-первых, объяснено уширение резонансного спектра, амплитуда и частота которого количественно характеризуют соотношение фаций в эволюционном процессе вторичного метаморфизма. Во-вторых, получено косвенное подтверждение смены вида напряженного состояния: смены изгиба в верхних слоях на растяжение в нижележащих слоях снежного покрова.

Выполненные исследования показали перспективность метода акустической стратиграфии снежного покрова для количественных определений размеров ледяных зерен снежного каркаса и выявления анизотропных текстур, формирующихся в разновозрастных слоях снежного покрова в процессе конструктивного и деструктивного метаморфизма.

Епифанов В.П., Осокин Н.И. Патент на изобретение №2552859 «Способ определения пространственно-временной неоднородности снежного покрова в условиях его естественного залегания. Госреестр от 14 мая 2015 года.

Эолово-флювиальная концепция формирования криолитозоны Восточной Сибири

А.А. Галанин

Институт мерзлотоведения СО РАН

Уже более 100 лет палеогеографические теории пытаются объяснить происхождение мощной криолитозоны на территории Восточной Сибири и ее ключевого компонента - едомы, простирающейся в виде прерывистого чехла от 50 параллели до Арктического побережья и включающей множественные остатки плейстоценовой мегафауны. Важным ее компонентом являются полигональные ледяные жилы (ПЖЛ), в виде решетки. Дискуссии генезисе едомы привели к появлению терминов с неясным смыслом как "ледовый комплекс", "льdistые покровные суглинки", "ледово-лессовая формация".

Основоположниками "гляциальной" концепции происхождения едомы стали П.А.Кропоткин, Э.В.Толль (1880 гг.), а затем В.А.Обручев (1950 гг.) и др., которые предположили, что ее ледовая составляющая не что иное, как остатки гипотетического Панарктического ледникового покрова, надвигавшегося в четвертичное время с севера и блокировавшего сток всех сибирских рек. Это привело к образованию гигантского Мансийского пресноводного моря, воды которого, стекали через Тургайскую долину в бассейн Аральского и Каспийского морей.

Полученные к 1950 гг. данные, обобщенные в работах А.А.Григорьева, С.С.Кузнецова, К.К.Маркова, А.А.Величко и др., полностью опровергли "гляциальную" концепцию. Реконструируемые палеоклиматические условия (И.Д.Воеков и др.) допускали лишь возможность развития ограниченного оледенения горного типа. Согласно новой теории "ограниченного оледенения", окруженная ледниками Восточно-Сибирская равнина на протяжении четвертичных криохронов являлась ареной водно-ледниковых и аллювиальных процессов (Карта четвертичных..., 1959; 1982). В рамках этой "флювиальной" концепции, генезис едомы объясняется как результат замерзания надмерзлотных и паводковых вод внутри систематических подтоплений мерзлотных трещин талыми и паводковыми водами (Геокриология СССР, 1989).

В 1972 г. С.В. Томирдиаро сформулировал альтернативную "эоловую" гипотезу происхождения едомы, полагая, что ее ПЖЛ формировались преимущественно из атмосферной влаги путем ее конденсации в виде инея на стенках мерзлотных трещин. Терригенная же часть - результат осаждения атмосферной пыли (лесса). Кроме едомы в регионе разными исследователями упоминалось широкое распространение дюн и барханов, покрывающие до 30% площади некоторых районов. Однако, в рамках обеих "гляциальной" и "флювиальной" парадигм эти образования не находили места, поэтому рассматривались как второстепенные малоинформативные фации.

В результате комплексных исследований в 2012-2017 гг. нами установлено, что дюнные отложения формировались синхронно и в тесном парагенезисе с едомой на обширных территориях Восточной Сибири в условиях холодного экстрааридного климата. О грандиозном позднечетвертичном опустынивании свидетельствует множество малоисследованных форм скопаемого эолового рельефа разной иерархии: (дефляционно-аккумулятивные равнины, эрги, ярданги, дефляционные останцы, ветрогранники, котловины выдувания со знаками ветровой ряби и др.). На протяжении криохронов дренажная (речная сеть) подвергалась интенсивной эоловой деформации и разрушению, что создавало условия для локальных подтоплений в водосборных бассейнах низких порядков на различных гипсометрических уровнях с образованием множества озер. Ревизия имеющихся данных позволяет рассмотреть генезис едомы и других ключевых криогенных образований в рамках новой "эолово-флювиальной" палеогеографической концепции.

Исследования выполняются при поддержке РФФИ-РС(Я) № 15-45-05129 и РФФИ № 17-05- 00954.

Наблюдаемые и когнитивные индикаторы изменения климата: сравнительный анализ
северо-западного региона и Якутии

*О.А. Анисимов¹, М.А. Белолуцкая¹, Ю.И. Жегусов², Е.Л. Жильцова¹, А.С. Пономарева³,
К.О. Шаповалова¹, М.А. Шишкина³*

¹*Государственный гидрологический институт.*

²*Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера СО
РАН.*

³*Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми, научный
центр УрО РАН*

Климат можно рассматривать в качестве неисчерпаемого общественного ресурса, создающего возможности для устойчивого развития. Тренды свидетельствуют, что этот ресурс становится более доступным в холодных регионах, несмотря на общепринятое представление об изменении климата как одной из основных проблем 21 века. Для управления рисками и потенциальными возможностями, связанными с изменением климата, нужны стратегии адаптации. Между тем, любая политика адаптации обречена на провал, если она не поддерживается населением.

В статье данные наблюдений за изменением климата и окружающей среды сравниваются с результатами общественных опросов, проведенных в Якутии и в Северо-Западном ФО в 2012-2016 гг. В опросах приняли участие более 2000 человек из нескольких городов и 2 поселков, различающихся по экономическим, социологическим, мерзлотным, растительным и климатическим условиям.

Опросы показали, что общественное восприятие не всегда объективно и зависит от многих факторов. Редкие события, такие как погодные аномалии или быстрые ландшафтные изменения, могут играть большую роль, чем длительные региональные тренды. В настоящее время менее половины опрошенного населения считают изменение климата свершившимся фактом, в ответ на которое они готовы предпринимать какие-то действия. Между тем, в изучаемых регионах, согласно данным наблюдений, изменения климата намного больше, чем в других регионах России. Несоответствие фактических изменений климата их общественному восприятию создает сложности для разработки стратегий адаптации. Для того, чтобы стратегии эффективно работали, они должны объединять знания, полученные из инструментального и модельного анализа изменений климата и окружающей среды с общественным восприятием этих изменений.

Работа выполнена при поддержке РФФ, проект 14-17-00037.

Результаты радиоэкологических исследований фьордов Шпицбергена (по материалам экспедиции НИС «Дальние Зеленцы», 2015 г.)

*Г.В. Ильин, И.С. Усягина, Д.А. Валуйская
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН.*

Со второй половины XX века по настоящее время моря Арктики находятся под воздействием региональных и локальных источников радиоактивного загрязнения, к которым относятся также перигляциальные процессы и таяние ледников. В островных районах Арктики существуют условия долговременной аккумуляции радионуклидов в покровных ледниках, в том числе выпадений периода испытаний ядерного оружия. В числе последних атмосферных радиоэкологических нагрузок в Арктике, после аварии Чернобыльской АС, стали выпадения продуктов аварии АС «Фукусима-1» в 2011 г. При современных климатических изменениях стоки ледников и перигляциальные процессы становятся источником рисков вторичного загрязнения прибрежных зон архипелагов.

В ноябре–декабре 2015 г. было исследовано радиоэкологическое состояние морской среды заливов Исфьорд, Биллефьорд, Гренфьорд, составляющих единую систему фьордов Западного Шпицбергена. Изучалось содержание техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных отложениях, в поверхностном, глубинном и придонном слоях воды. Отмечено в целом низкое радионуклидное загрязнение верхнего распресненного слоя воды 0-50 м свободно обменивающегося в водной системе Исфьорд–Гренфьорд–Биллефьорд. Объемная активность ^{137}Cs варьировала в диапазоне 1-1.6 Бк/м³, а ^{90}Sr – в диапазоне от 1.5 до 3.6 Бк/м³. Однако именно в этом слое наблюдается наибольшее радиоэкологическое влияние стоков ледника Норденшельда. Максимум активности ^{137}Cs и ^{90}Sr выражен в вершине залива Биллефьорд, а непрерывный горизонтальный градиент со снижением удельной активности прослежен от его вершины к устью Исфьорда.

Удельная активность радионуклидов в донных отложениях фьордов также низкая. Однако тающие ледники оказывают значимое влияние на состояние донных осадков в местах разгрузки стоков. В осадках Биллефьорда отмечен максимум концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr . Средняя активность ^{137}Cs составила 4.2 Бк/кг, а ^{90}Sr – 3.6 Бк/кг. Повышенная концентрация радионуклидов наблюдалась в осадках депрессивных участков дна Исфьорда, что вызвано аккумуляцией в них части выносимых из Биллефьорда и Гренфьорда осадочных материалов. В целом для донных отложений Исфьорда характерно снижение удельной активности ^{137}Cs (в среднем 3.5 Бк/кг) и ^{90}Sr (в среднем 2.1 Бк/кг). В донных осадках Гренфьорда, имеющего свободный водообмен с Исфьордом, содержание радионуклидов наиболее низкое. Удельная активность ^{137}Cs в среднем составляет 3.2 Бк/кг, а ^{90}Sr – 1 Бк/кг сухого осадка. В вершинах Биллефьорда и Гренфьорда в донных осадках обнаружен радиоизотоп ^{134}Cs , (период полураспада 2.06 г.). Жесткое γ -излучение делает ^{134}Cs одним из наиболее опасных элементов при радиационных авариях. Основной причиной нахождения в пробах осадка короткоживущего ^{134}Cs является, по-видимому, выпадение продуктов аварии АС «Фукусима-1» и их аккумуляция в ледниках.

Таким образом, современное радиоэкологическое состояние морской среды в системе заливов Исфьорда характеризуется низкой концентрацией и очевидными различиями их содержания в водах и донных отложениях фьордов и внешнего шельфа Западного Шпицбергена. Эти различия, обусловленные факторами среды, выражены на локальном уровне. Так, в зоне разгрузки выводного ледника Норденшельда (Биллефьорд) формируется максимум концентрации радиоизотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr как в воде, так и в донных отложениях. С удалением от зоны разгрузки происходит закономерное снижение их объемной и удельной активности. В Гренфьорде из-за морфологических и гидрологических особенностей водоема формирование максимумов ^{137}Cs и ^{90}Sr

локализовано главным образом в донных отложениях приустьевых участков рек, дренирующих окружающие ледники.

Альгологические исследования на побережье Западного Шпицбергена

Г.М. Воскобойников, Е.Ю. Зубова.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Водоросли арктических морей живут в условиях уникального природного эксперимента, испытывая смену фотопериода от полярного дня до полярной ночи, температуры воздуха на литорали во время отливов до $+20^{\circ}$ летом и до -20° зимой, ультрафиолета, осушения, влияния льда в зимний период. Какие факторы являются определяющими в географии распространения многолетних видов в высокие широты, каковы механизмы адаптации к данным факторам и чем определяется видовое разнообразие морских макрофитов в Арктике? Какие изменения возможны в биологическом разнообразии флоры арктических морей в случае ожидаемого изменения климата? Ответы на эти вопросы входят в задачи исследований ученых Мурманского морского биологического института КНЦ РАН, работающих уже много лет на побережье Шпицбергена, сочетающих проведение натурных наблюдений и лабораторных экспериментов.

Исследования на Шпицбергене подтвердили гипотезу о компенсаторной роли фотопериода в регуляции роста макрофитов, когда при низкой температуре окружающей среды за счет увеличения фотопериода усиливается скорость роста водорослей. Эксперименты по влиянию темноты показали, что если на Мурманском побережье, побережье Грен-фьорда (арх. Шпицберген) возможность существования водорослей при минимальном освещении в период полярной ночи обеспечивается адаптацией фотосинтетического аппарата к низкому уровню освещения, то переживание при полной темноте осуществляется за счет потребления запасных веществ, продуктов автолиза таллома и внешних растворенных органических веществ. Способность фукоидов при длительном отсутствии освещения сохранять тканевые и клеточные структуры без признаков деградации свидетельствует о возможности их перехода с фотоавтотрофного на гетеротрофный способ питания. Температура является одним из основных факторов, определяющих биогеографические границы произрастания водорослей. Представлены гипотезы, определяющие механизмы переживания водорослей при отрицательных температурах, и диапазон толерантности массовых видов водорослей к положительным температурам. Существенное влияние на вертикальное распределение макрофитобентоса в сублиторальной зоне может оказывать гидростатическое давление. В частности, давление в 3 атм (соответствует давлению на глубине 30 м) значительно тормозит или нарушает развитие прорастающих спор ламинарии. Показано, что ведущими факторами в распространении макрофитов являются размерный состав грунта, интенсивность движения воды и соленость. Экспериментально определен ряд устойчивости доминантных видов водорослей к распреснению: *Fucus vesiculosus* > *F. distichus* > *Ascophyllum nodosum* > *F. serratus* > *Saccharina latissima*. Вероятно, на открытом побережье элиминирующим фактором является волноприбойная активность, а в эстуарной зоне - распреснение ниже 5-8 ‰. Длительное существование *F. vesiculosus* в эстуарных зонах возможно лишь благодаря постоянным колебаниям солености на литорали, так называемым "приливным окнам". В высокоширотных районах значительное влияние оказывает еще один фактор – истирание водорослей льдами, перенос и переламывание субстрата, на котором макроводоросли могут закрепиться и произрастать. Вследствие отсутствия заноса ледовых полей в залив Грен-фьорд архипелага Шпицберген в 2013-2014 гг. значительно повысилась биомасса водорослей в этом районе.

Радиоуглеродные исследования органического вещества почв высоких широт: результаты и перспективы.

*Зазовская Э.П., Горячкин С.В., Шишков В.А., Мергелов Н.А., Долгих А.В.
Институт географии РАН*

Динамика запасов органического углерода, время оборачивания различных пулов углерода при меняющихся условиях среды, механизмы, время стабилизации органического вещества в почвах являются важными показателями глобальных изменений природной среды. В последние годы большой интерес исследователей связан с почвами высоких широт, как систем особенно чутко откликающихся как на естественные, так и на антропогенные изменения среды. Особая важность в изучение почв высоких широт связана с тем, что почвы Арктики содержат 496 Pg в верхних 100 см и 1024 Pg в 300 см (Tarnokayetal., 2009), что составляет около 50% глобального пула углерода почв. Поведение органического вещества (ОВ) многолетнемерзлых грунтов при изменении условий контролируется прежде всего его составом и возможными механизмами стабилизации. Одним из наиболее подходящих методов исследования механизмов стабилизации ОВ является радиоуглеродное датирование. Объектами нашего исследования стало ОВ почв и почвоподобных тел оазисов Восточной Антарктиды и почв высокой Арктики. Радиоуглеродное датирование проводилось как с использованием жидкосцинтилляционного метода (LSC), так и с применением ускорительной масс-спектрометрии (AMS), что особенно важно при датировании почв и почвоподобных тел Антарктики, где часто содержание органического углерода достаточно низкое, а также датирование различных фракций, выделенных из ОВ исследуемых почв. Применение LSC техники имеет достаточно высокие ограничения по количеству датируемого материала. Показано, что в экстремальных условиях Антарктики, где источником органического вещества являются не сосудистые растения, а лишь некоторые криптогамные организмы и микробные фотоавтотрофы, может формироваться пул органического вещества, устойчивый во времени. Средний возраст ОВ почв составляет первые сотни лет. Лимитирующими факторами при сохранении пула ОВ являются специфические климатические и ландшафтные условия почвообразования: сильные кatabатические ветра; преимущественное формирование почв с органопрофилем в местах подверженных интенсивной водной эрозией; локальные катастрофические явления, уничтожающие почвенный покров. Однако возраст ОВ единичных почв оазисов Восточной Антарктиды может достигать 7000-8000 BP, что мы связываем с особыми условиями стабилизации этого ОВ. Для почв высокой Арктики по радиоуглеродным данным показаны как высокие скорости углеродного обмена в системе почва-атмосфера, так и стабилизация ОВ и включение в пул древнего ОВ, при увеличении сезонного-талого слоя. Одним из перспективных направлений исследований стабилизации ОВ почв высоких широт, в настоящее время, мы видим выявление механизмов физической стабилизации ОВ и выявление «особо прочных» фракций ОВ, обеспечивающих его стабилизацию. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 17-04-01475

Распределение теплого и холодного льда в ледниках на Земле Норденшельда, Шпицберген, по данным радиозондирования.

*И.И. Лаврентьев, А.Ф. Глазовский, Ю.Я. Мачерет, И.О. Марчук
Институт географии Российской академии наук.*

По данным наземных радиолокационных исследований 1999, 2007 и 2010-2013 гг. 15 ледников на западе Земли Норденшельда на Шпицбергене, на 12 из них, кроме отражений от ложа, получены протяжённые отражения от диэлектрически контрастной внутренней отражающей границы (ВОГ), являющиеся индикатором ледников политермического типа, состоящих из верхнего слоя холодного льда и нижнего слоя тёплого (при температуре таяния) водосодержащего льда с более низкой по сравнению с холодным льдом скоростью распространения радиоволн <168 м/мкс, зависящей от содержания воды в этом слое. Для 11 таких ледников по времени запаздывания отражённых сигналов от ложа и ВОГ определены их общая толщина и объём холодного льда в них. Толщина и объём тёплого льда определены как разность этих величин.

В этой работе представлены новые сведения о распределении тёплого льда в ледниках политермического типа. Его доля изменяется от 0,1 до 67 %, толщина достигает 240 м, а общий объём в 11 ледниках составляет $4,28 \text{ км}^3$, а объём запасённой в них жидкой воды при её среднем содержании в тёплом льду 2% составляет $0,086 \text{ км}^3$ и может заметно влиять на реологические свойства льда, скорость деформации, скорость донного скольжения и скорость движения ледников. Также, из соотношения между площадью и объёмом тёплого льда на изученных 11 ледниках установлено, что площадь ледников политермического типа на западе Земли Норденшельда превышает 2 км^2 , а площадь холодных ледников меньше 2 км^2 .

Динамика снегозапасов в лесу и поле при климатических изменениях

*А.В. Сосновский, Н.И. Осокин, Г.А. Черняков
Институт географии РАН*

Современные климатические изменения оказывают значительное влияние на параметры снежного покрова, такие как высота, плотность, снегозапасы. Для их определения проводятся измерения высоты снежного покрова на метеостанциях по постоянной рейке и в ходе снегомерных работ на маршрутах в поле и в лесу. При определении высоты снежного покрова и снегозапасов возникает ряд проблем, так как измерения в лесу и поле могут значительно различаться. Из 517 метеостанций с маршрутными снегосьемками, представленных на сайте ВНИИГМИ-МЦД, 77 метеостанций имеют маршрутные снегосьемки, как в поле, так и в лесу. Это позволяет провести сравнение высоты снежного покрова и снегозапасов в лесу и в поле при приблизительно одинаковых условиях по осадкам. Основное количество этих метеостанций приходится на Европейскую территорию России (ЕТР) – 60 станций, 10 станций – юг Западной Сибири и 7 метеостанций Восточной Сибири. Построены карты максимальных снегозапасов снежного покрова в лесу и в поле.

Для Европейской территории России (ЕТР) максимальные снегозапасы в лесу за период 2001 – 2010 гг. составили 132 мм, тогда как для поля 130 мм. Для юга Западной Сибири снегозапасы в лесу и поле – 125 и 107 мм, соответственно. Для метеостанций Восточной Сибири снегозапасы в лесу и в поле показали обратную зависимость и составили 64 и 70 мм, соответственно.

За период 2001–2010 относительно периода 1966–2000 гг. снегозапасы в лесу уменьшились на 7%, тогда как в поле немного увеличились – на 2%. Отношение снегозапасов в лесу к его значению в поле обозначим $K_{лп}$. Величина $K_{лп}$ за период 1966 – 2000 гг. составляет 1,12, тогда как за период 2001 – 2010 гг. всего 1,01. За периоды 1981–90 гг., 1991–2000 гг. и 2001–2010 величина $K_{лп}$ снижалась и составляла 1,15; 1,11 и 1,03, соответственно.

На 24 метеостанциях из 77 величина $K_{лп}$ за период 1981–1990 гг. была больше 20%. Для этих метеостанций среднее значения величины $K_{лп}$ в периоды 1981–1990 гг.; 1991–2000 гг. и 2001–2010 гг. составило 1,41; 1,31 и 1,15, соответственно. Это показывает тенденцию выравнивания снегозапасов в лесу и в поле при современных климатических изменениях.

Снежный покров Арктики как природный архив рассеянного осадочного вещества, поступившего из атмосферы

*В.П. Шевченко¹, А.П. Лисицын¹, Д.П. Стародымова¹, А.А. Виноградова², В.Б. Коробов³,
Е.И. Котова⁴, И.А. Немировская¹, А.Н. Новигатский¹, О.С. Покровский^{4,5}, Н.В. Политова¹*

¹*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова*

³*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Северо-Западное отделение,
Архангельск*

⁴*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени
академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск*

⁵*Томский государственный университет, Томск*

Обобщены результаты многодисциплинарных многолетних (1991–2017 гг.) исследований рассеянного осадочного вещества (нерастворимых микро- и наночастиц) в снежном покрове Арктики и Субарктики. Получены данные по распределению, вещественному и химическому составу частиц в снеге на дрейфующих морских льдах Арктики и в водосборных бассейнах. Рассчитаны обратные траектории переноса воздушных масс. Выполнена оценка степени загрязнения снега как в фоновых районах, так и близ промышленных центров. Оценена роль различных природных и антропогенных источников аэрозолей Арктики. Показано, что вклад аэрозолей в формирование осадочного материала в Арктике весьма существенен. Для ряда химических элементов (Pb, Sb, Se, V и др.) и соединений (в том числе стойкие органические загрязнители) аэрозольный источник – главный.

Коренным отличием эолового материала в Арктике является то, что главная его поставка и разгрузка идут не летом, а зимой, когда поверхность питающих провинций скрыта слоем снега и скована льдом. В это время главное значение приобретают аэрозоли и загрязнения дальнего и сверхдальнего происхождения (особенно зимой) – об этом свидетельствуют многочисленные маркеры (минералы, отношения химических элементов, биомаркеры).

Авторы благодарны коллегам, принимавшим участия в совместных полевых и лабораторных исследованиях. Наши исследования были поддержаны Президиумом РАН (Программы фундаментальных исследований №№ 3 и 32), Отделением наук о Земле РАН (проект “Микро- и наночастицы в Мировом океане и пресноводных объектах”).

Полярные исследования в рамках программ президиума РАН: результаты и перспективы.

Сократова И.Н.

Институт истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН

Российская академия наук целенаправленно обеспечивает процесс изучения, освоения и развития Арктики и Антарктики. В настоящее время Российской академией наук проводятся фундаментальные научные исследования по изучению ряда ключевых проблем полярных регионов Земли в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы. В целях обеспечения комплексного и системного решения наиболее важных научных проблем развития Арктической зоны Российской Федерации и освоения арктических территорий президиумом РАН в 2014–2017 гг. выполняется приоритетная программа фундаментальных исследований «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации», (в соответствии с Постановлением президиума РАН от 11 февраля 2014 г. № 22). Основной организационной идеей программы стало объединение усилий научных институтов академического профиля для решения актуальных задач развития Арктической зоны Российской Федерации путём использования современных достижений естественных и точных наук. Программа нацелена на обоснование долгосрочных перспектив и основных направлений развития различных видов деятельности в Арктике, включая изучение окружающей среды и рациональное природопользование, а также создание теоретических и экспериментальных основ новых методов и технологий изучения и освоения Арктики. Характер фундаментальных и инновационных работ, выполняемых в рамках проектов программы, варьируется в широких пределах — от углубления или получения принципиально новых представлений об Арктической зоне Российской Федерации до разработки комплексной программы фундаментальных и прикладных исследований экономического, ресурсного, промышленного и социального развития Арктической зоны Российской Федерации на 2015–2020 годы. Работы выполняются силами академических научно-исследовательских институтов, подведомственных Федеральному агентству научных организаций, по 100 проектам, в рамках 3 крупных разделов. Ежегодно по программе выполнялось от 98 до 103 проектов. Финансирование Программы в 2014 г. составляло 300 млн. руб., к 2017 г. оно сократилось до 94 226,5 руб.

В настоящее время президиум РАН сформировал новый пакет программ фундаментальных научных исследований – 58 программ, в ряде которых представлена полярная тематика (в соответствии с постановлением президиума РАН от 05 июля 2017 г. № 133). Одна из вновь сформированных программ: «Арктика - научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития» (координатор – академик РАН А.И. Ханчук; планируемое финансирование программы на 2018 г. – 30 млн. руб.). Целью исследований по программе является получение фундаментальных основ новых технологий освоения, сохранения и развития Арктики. Сроки выполнения исследований – 2018 г. с возможным продлением Программы на 2019 и 2020 гг.

Исследования изотопного состава водяного пара над поверхностью океана во время Антарктической кругосветной экспедиции АСЕ (2016-2017)

А.В.Козачек¹, А.А.Екайкин^{1,2}, Х.К.Стеен-Ларсен³, А.Ландэ⁴

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

²Институт наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³Центр льда и климата, Университет Копенгагена, Копенгаген, Дания

⁴Лаборатория наук о климате и окружающей среде, Сакле, Франция

Антарктическая кругосветная экспедиция АСЕ проходила с 19 ноября 2016 года по 30 апреля 2017 года по маршруту от Бремерхафена (Германия) до Санкт-Петербурга (Россия) с заходом в порты Кейптаун, Хобарт, Пунта-Аренас. Во время экспедиции проводились непрерывные измерения изотопного состава водяного пара над поверхностью океана.

Цель этой работы – уточнение результатов палеоклиматической информации, полученной по антарктическим ледяным кернам, а также получение дополнительной информации о климатической системе регионов выполнения работы и верификация климатических моделей.

Для измерений использовались два анализатора изотопного состава водяного пара Picarro L2120-i и Picarro L2130-i, оснащённые двумя типами калибровочных модулей. Эта способствовала получению наиболее точных результатов измерения, а также выполнить сравнительную характеристику разных типов оборудования.

В докладе представлен предварительный анализ данных, полученных во время работы экспедиции.

Динамика Антарктического ледникового покрова в эпоху потепления

*В.М. Котляков, А.Ф. Глазовский, М.Ю. Москалевский
Институт географии РАН.*

Современная эпоха глобального потепления отражается на общем состоянии Антарктического ледникового покрова и балансе его массы. Потепление ведёт к увеличению содержания водяного пара в воздушных массах, вызывает интенсификацию атмосферной циркуляции и рост снегонакопления на поверхности ледникового щита. Вместе с тем потепление океанических вод и некоторое увеличение температуры льда приводят к росту скоростей течения льда и большему расходу льда на береговой линии материка. Изучение и расчёты этих процессов и их соотношения не просты и до сих пор не получили законченного решения.

Предположение о современном росте массы льда в Восточной Антарктиде было высказано еще в период Международного геофизического года (1957–1958 гг.). Однако по мере развития новых методов исследований такое заключение начали ставить под сомнение. На рубеже веков в изучении глобальных процессов на Земле стали использовать спутниковую альтиметрию (радарную и лазерную), а также спутниковую гравиметрию, позволяющие определять изменения массы, в том числе льда, которые приводят к гляциоизостатическим движениям. Такие исследования в последние годы стали массовыми, и их используют для подсчёта баланса материкового льда.

Наш анализ обширных материалов последних лет подтверждает ранние заключения гляциологов о продолжающемся росте массы льда в Восточной Антарктиде. Однако в Западной Антарктиде и на Антарктическом полуострове в наше время, наоборот, происходит усиленное таяние льда, нивелирующее повышенный приход массы льда в Центральной Антарктиде. Поэтому в целом в современную эпоху глобального потепления масса льда в Антарктиде, по-видимому, снижается, несмотря на некоторый рост Восточно-антарктического ледникового покрова. В результате уровень Мирового океана повышается за счёт стаивания ледникового покрова Антарктиды не более чем на 0,1 мм в год. По сравнению с масштабами Антарктического ледникового покрова его вклад в повышение уровня моря незначителен. Главная причина этого заключается в том, что в Восточной Антарктиде накопление массы со значительной долей вероятности преобладает над расходом льда.

Основные результаты гляцио-геофизических работ в районе отечественных станций Мирный и Прогресс в сезон 62-й раз (2016/17 г.)

С.В. Попов¹, С.С. Пряхин², Д.П. Бляхарский³, А.Д. Белков⁴, В.Л. Кузнецов²,
В.Л. Мартыанов², В.В. Лукин², М.П. Кашкевич⁵, С.В. Тюрин⁵

¹АО «ПМГРЭ», г. Санкт-Петербург, Россия

²ФГБУ «АНИИ», г. Санкт-Петербург, Россия

³АО Геоскан, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴АО «Аэрогеодезия», г. Санкт-Петербург, Россия

⁵Институт наук о Земле СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия

В ходе летнего полевого сезона 62-й РАЭ (2016/17 г.) сотрудниками Российской антарктической экспедиции был выполнен обширный комплекс ледоисследовательских работ, направленных прежде всего на решение прикладных задач РАЭ логистического характера. Он включал в себя *инженерные, аэрофотосъёмочные, гляциологические, буровые, геодезические и георадарные* исследования с целью обеспечения безопасности транспортных операций в районе российских антарктических станций Мирный и Прогресс (Восточная Антарктида). Кроме того, были проведены работы по изучению морского льда.

Работы в районе отечественной станции Мирный включали в себя: проверку посадочной площадки на наличие трещин, выполнение геодезических GNSS измерений положения вех для прогнозирования развития трещин в данном районе, составление схемы высот поверхности ледника, и определение скоростей распространения электромагнитных волн в теле ледника. Помимо этого был осуществлен комплекс рекогносцировочных работ, направленных на поиск места возможного строительства дополнительной посадочной площадки. Выяснено, что перспективным районом является участок ледника, расположенный недалеко от сопки Ветров. Наклонные зондирования, выполненные по методике ОГТ, позволили построить обоснованную скоростную модель ледника. Визуальная и инструментальная проверка посадочной площадки показала, что она пригодна для дальнейшего использования. Кроме того, в ходе текущего полевого сезона она интенсивно использовалась для выполнения комплексных аэрогеофизических работ АО «ПМГРЭ», выполняемых на самолете Ан-2.

Работы в районе отечественной станции Прогресс выполнялись с целью обеспечения безопасности трассы санно-гусеничных походов (СГП) при следовании на станцию Восток и обратно. Впервые в практике РАЭ они включали в себя выполнение аэрофотосъёмки с помощью беспилотной аэрофотосъёмочной системы (БАС). В ходе предварительной камеральной обработки подготовлены ортофотопланы участков трассы следования СГП. Выяснено, что трещины значимого размера отсутствуют. Кроме того, произведена аэрофотосъёмка провала, образовавшаяся 30 января 2017 года в западной части ледника Долк в районе полевой базы Прогресс-1. Полученные данные позволили оценить максимальные линейные размеры образовавшейся депрессии, которые составили 183×220 м, при площади 40260 кв. м.

Кроме вышеизложенных инженерных изысканий, на замерзшей акватории Нелла фиорда (район станции Прогресс) выполнены опытно-методические работы (ОМР) для изучения электромагнитного лоцирования морского льда и подстилающего слоя морской воды.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-05-00579-а.

Вертикальный профиль диэлектрической проницаемости ледника в районе станции Восток (Восточная Антарктида) по данным наклонных зондирований.

С.В. Попов

АО «ПМГРЭ», г. Санкт-Петербург, Россия

В ходе летнего полевого сезона 45-й РАЭ (1999/2000 г.) в районе станции Восток, на удалении примерно 650 м от забоя скважины 5Г, были выполнены наклонные зондирования по методике *общей точки возбуждения* (ОТВ) для определения средней скорости распространения электромагнитных волн в теле ледника, а также для измерения его толщины в пункте бурения. Результаты показали, что средняя скорость составляет $168,4 \pm 0,5$ м/мкс. Оценка толщины ледника в районе выполнения работ составила 3775 ± 15 м. Предполагалась, что в пункте бурения её величина та же самая. После проникновения в озеро Восток в феврале 2012 г. выяснилось, что толщина ледника составляет 3758 ± 3 м.

В рамках проведённого научного исследования выполнена переобработка ранее полученных данных по наклонным зондированиям. Их предыдущая обработка предполагала учёт лишь отражений, сформированных от поверхности озера Восток. В ходе текущего научного исследования, помимо этой границы было выявлено ещё четыре наиболее контрастных отражения, наблюдаемых в теле ледника. Затем, в рамках модели наклонно-слоистой среды подбирались теоретические годографы так, чтобы они наиболее точно соответствовали зарегистрированным на временных радиолокационных разрезах. Изложение методики обработки и полученных результатов приводится в докладе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-55-12003 ННИО_а.

Формирование, свойства и влияние промежуточного слоя на режим движения ледников

*В.П. Епифанов**Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН*

Наблюдениями установлено, что большая часть продольных смещений ледников происходит в придонном слое. Одной из причин может быть особая структура льда в этом слое. С помощью техники интенсивной пластической деформации получена структура льда, обладающая высокой текучестью и смоделированы режимы движения ледников по ложу. *Цель моделирования — количественное определение деформационных изменений структуры льда при сдвиге в условиях компрессионного сжатия и оценка влияния этой структуры на адгезионную прочность соединения льда с горной породой.*

На базе пятидесяти тонного прессы и акустической измерительной линии был собран макет, позволяющий наблюдать истечение льда из сосуда высокого давления и измерять физико-механические свойства льда. Скорость истечения льда (30...300 м/год) и его температура (-5...-17° С) были близки к реальным условиям залегания ледников, а напряжения имитировали условия на ложе ледников Антарктиды. Кинетику формирования структуры льда исследовали с помощью акустического метода, независимый контроль структуры осуществляли с помощью поляризационной микроскопии. Для анализа использована связь между размером подвижных элементов структуры, их резонансной частотой, плотностью льда и жесткостью связей. В докладе особое внимание обращено на усиление пластичности пресноводного льда при наложении упругих волн в условиях компрессионного сжатия, обтекание льдом препятствий и распределение скоростей течения льда по сечению канала.

Воспроизведены основные режимы движения ледников ложу — скольжение и течение (включая голубые ленты). Определены структура, физико-механические, прочностные и акустические характеристики льда в промежуточном слое, рассмотрено также ее влияние на режимы скольжения. Освоено разделение акустических спектров, характерных для различных типов движения льда по горным породам, отобранным в Антарктиде с ложа ледников. Разработана методика формирования объемных образцов пресноводного льда с заданной мелкокристаллической структурой, обладающей сверхтекучестью. Полученные результаты и акустико-механический метод может быть применен для дистанционного изучения режимов движения ледников по ложу.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 05-15-07767_а.

**Эволюция приземной температуры в Северном полушарии в XX веке
по данным реанализов NCEP 20th Century Reanalysis, ERA 20C, CERA 20C.**

Д.Д. Бокучава¹, В.А. Семенов^{1,2}

¹ *Институт географии РАН,*

² *Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН*

Рост глобальной приземной температуры в период инструментальных наблюдений с начала XX века не был монотонным и характеризовался двумя периодами потепления - потеплением середины XX века и современным потеплением, разделенных периодом снижения глобальных температур. Для анализа современных изменений климата часто используются реанализы – глобальные сеточные данные по характеристикам атмосферы, полученные с помощью модели атмосферы с ассимиляцией различных эмпирических данных. Данные реанализов, как правило, доступны со второй половины XX века. В последнее десятилетие появились реанализы, охватывающие весь XX век. Ввиду значительно меньшего количества и худшего качества данных наблюдений в первой половине XX века, способность реанализов для XX века воспроизводить потепление середины века нуждается в количественной оценке. В данной работе анализируется эволюция приземной температуры в Северном полушарии по данным трех реанализов, охватывающих весь XX век: американского NCEP/NOAA 20th Century Reanalysis (NCEP20C) и европейских ECMWF ERA 20C и CERA 20C в сравнении с сеточными данными GISTEMP GISS/NASA, основанными на станционных наблюдениях. Анализовалась пространственная структура потепления для трех климатических периодов – потепления середины XX века, последующего похолодания и современного потепления. Показано, что если для периода современного потепления изменения приземной температуры во всех реанализах в целом хорошо согласуются между собой и с данными прямых наблюдений, то для предшествующих периодов выявлены существенные различия в пространственной структуре климатических трендов и их амплитуде для различных регионов СП, наиболее ярко выраженные в высоких широтах СП. В том числе показано, что эволюция среднегодовой температуры по данным NCEP20C представляет собой линейный тренд для всего периода XX века, а реанализы ERA20C и CERA20C отражают два периода потепления с промежуточным похолоданием, но превышают и занижают значения данных наблюдений соответственно.

Тенденции многолетней изменчивости химического состава речных вод материковой части Российской Арктики в условиях климатических изменений

*А.О. Даниленко, О.С. Решетняк, М.Ю. Кондакова, Л.С. Косменко
ФГБУ «Гидрохимический институт»*

В последние десятилетия проблеме влияния климатических изменений на наземные и водные экосистемы уделяется большое внимание, особенно остро этот вопрос стоит для арктического региона. Важным является также изучение последствий изменения климата, в том числе тенденции изменения компонентного состава вод.

Химический состав природных вод является важнейшим показателем, характеризующим качество вод, по которому можно классифицировать воды по их минерализации, составу, оценивать обеспеченность водных объектов питательными веществами, необходимыми для развития водной флоры и фауны, устанавливать степень загрязненности воды, выявлять источники загрязнения и т.п. Формирование химического состава арктических речных вод обусловлено широким комплексом физико-географических условий, а именно, большой увлажненностью на севере, преобладанием менее минерализующих воду почв (тундровые, болотистые, лесные), обширностью области вечной мерзлоты и др.

Реки материковой части Российской Арктики являются сложными системами, часто отличающимися гидрологическим режимом, составом дренируемых горных пород и климатическими условиями, в силу чего химический состав их воды будет меняться. Значительный вклад в изменчивость химического состава рек оказывают глобальные климатические процессы. Как известно, арктический регион очень уязвим в связи с происходящими климатическими изменениями, что будет приводить к трансформации химического состава речных вод.

Проведенный покомпонентный анализ изменчивости химического состава речных вод материковой части арктической зоны наглядно показал пространственную дифференциацию различных секторов Арктики. Выявлена неоднородность пространственного распределения водных объектов по содержанию в них соединений железа и цинка, минеральных форм азота, органических веществ и нефтепродуктов.

Наиболее заметные отличия в концентрациях химических веществ в речных водах материковой части Российской Арктики сформировались на территории Западной Сибири. Содержание железа за тридцатилетний период наблюдений не только регулярно превышает ПДК в несколько раз, но и не опускается до этого уровня. Такие исходно высокие концентрации многих компонентов речных вод приводят к искажению степени загрязненности воды, особенно для территории Западно-Сибирской Арктики.

Анализ эволюторных процессов изменения химического состава речных вод позволил выявить основные тенденции его изменения. Такие процессы эволюторного роста или снижения концентраций химических веществ в речных водах материковой части арктической зоны характерны скорее для отдельных водных объектов, чем для целых территорий, и в целом убывающих трендов больше, чем возрастающих. Исключение составляет постепенный рост содержания сульфатов и соединений железа в отдельных водных экосистемах, носящий локальный характер (Кольский Север).

С учетом того, что во всех средах арктического пространства происходят глобальные изменения, затрагивающие различные геохимические процессы и влияющие на химический состав речных вод, полученные данные вносят существенный вклад в понимание происходящих процессов и могут быть использованы при разработке экологически обоснованной системы нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты арктического региона.

Современное состояние многолетнемерзлых пород на Европейском севере

Г.В. Малкова, М.Р. Садуртдинов, А.М. Царев, А.Г. Скворцов
Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН

По данным метеорологических наблюдений за последние 35 лет произошли с существенные климатические изменения, а температура воздуха изменялась в широких пределах. Среднегодовая температура воздуха в период климатической нормы (1960-1990 гг) на м/с Болванский была равна -4.7°C . Среднее значение за 35-летний период с 1983 по 2017 гг. повысилось до -3.8°C , а за все годы XXI века составляет только -2.7°C . За последние 35 лет (в период геокриологического мониторинга) тренд изменения среднегодовой температуры воздуха составляет около $0.09^{\circ}\text{C}/\text{год}$, такой же тренд характерен для среднезимней и для среднелетней температуры воздуха. При этом на 10 дней увеличилась продолжительность теплого периода и на 100 мм суммарное годовое количество осадков. Очевидно, что изменение всех климатических характеристик для данного региона за последние годы должно способствовать деградации ММП, повышению их температуры и увеличению глубины протаивания (СТС).

Для стационаров Болванский и Шапкина темпы потепления ММП в условиях естественных мерзлых ландшафтов южной тундры отстают от темпов потепления климата в 2-8 раз и изменяются в разных экосистемах от $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ до $0,01^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Максимальные тренды характерны для ландшафтов возвышенных дренированных тундр, а минимальные тренды характерны для плоско-полигональных или бугристо-полигональных торфяников. В условиях такого существенного потепления климата болота и торфяники оказались наиболее стабильными и устойчивыми по сравнению с другими экосистемами севера. Техногенные изменения существенно ускоряют деградацию мерзлоты: при снятии растительного покрова скорость повышения температуры ММП равна $0,05^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а при удалении еще и торфяного горизонта – среднемноголетний тренд уже достигает $0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$.

Мощность органического горизонта является основным фактором, определяющим глубину протаивания ММП. Чем мощнее этот слой, тем меньше глубина протаивания и тем устойчивее криогенные ландшафты к потеплению климата. В последние годы глубина протаивания тундровых экосистем достигла критической величины 1,5-1,8 м, и в отдельных ландшафтных условиях начали формироваться несквозные талики и мерзлые толщи несливающегося типа. При развитии торфа с поверхности глубина протаивания, как правило, достигает всего 0,7-0,8 м.

Даже в условиях современного потепления для стационара Болванский характерно развитие процесса новообразования ММП на участках несквозных таликов - в болотных экосистемах под днищами спущенных озер. Для изучения характера распространения ММП под озерами и хасырями на стационаре Болванский была использована методика ВСПВ (высокоразрешающая сейсморазведка на поперечных отраженных SH-волнах). С помощью этой методики удалось оценить не только глубину подозерного талика под одним из спущенных озер в береговой зоне Печорской губы (по данным ВСПВ она составляет 13-14 м), но и характер залегания ее кровли, а также выявить несколько линз новообразования мерзлых пород в центральной части хасыря, образованного 20 лет назад в результате спуска озера.

Многолетние исследования выполнялись при финансовой и технической поддержке международных проектов CALM и TSP, с 2016 г. полевые работы осуществляются при финансовой поддержке гранта РНФ 16-17-00102.

Особенности залегания многолетнемерзлых пород в дельте р.Печора.

А.М. Царев¹, Г.В. Малкова¹, М.Р. Садуртдинов¹, А.Г. Скворцов¹, М.С. Судакова^{1,2}.

¹*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, РФ,*

²*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
геологический факультет, Москва, РФ.*

В дельте р.Печора залегают преимущественно талые породы. Лишь в отдельных ее частях и на прибрежных островах встречаются небольшие по площади участки островной мерзлоты. Ее изучение осуществляется силами ИКЗ СО РАН на участках остров Кашин и Кумжа, входящих в состав геокриологического стационара Болванский.

С 2011 года на этих участках кроме стандартных инженерно-геокриологических исследований выполняются комплексные геофизические работы. В состав комплекса входят сейсмические, электроразведочные и георадарные исследования. Целью геофизических исследований является изучение площадного распределения многолетнемерзлых пород (ММП) и особенностей их залегания в разрезе.

В процессе исследований разработаны общие принципы комплексирования сейсмических и георадарных методов. Сейсмические методы рассматриваются в качестве эталонных, особенно в отсутствии или при недостатке данных бурения. Они обеспечивают надежную геологическую идентификацию сейсмогеологических границ в разрезе и дают опорные данные о глубине залегания геокриологических и гидрогеологических границ. Георадарные исследования, обладая относительной простотой и легкостью их выполнения, позволяют значительно увеличить объем получаемой информации, а в ряде случаев повысить детальность изучения геокриологического разреза.

На участке остров Кашин этот комплекс исследований выполнялся на суше и в прибрежной части акватории на удалении до 300м от береговой линии. С помощью этих методов установлено, что ММП на высоких отметках острова в пределах ненарушенных участков залегают непосредственно под сезонным слоем на глубинах от 1 до 1.5м, а в местах песчаных раздувов погружаются до 6м. На низких заболоченных участках ММП отсутствуют. На пляже южного и большей части северо-западного берега ММП также отсутствуют. Здесь они пропадают из разреза в центральной части берегового склона. В средней 500-метровой части северо-западного берега на пляже кровля ММП располагается на глубине около 6м и существуют в пределах акватории в 200-метровой прибрежной полосе. Глубина кровли ММП на границе этой полосы составляет 11-12м. Мощность ММП в пределах острова по данным сейсморазведки и электроразведки равна 30-35м.

На участке Кумжа кровля ММП залегает на глубине 2-9м. Отчасти это связано с сильным техногенным изменением ландшафтных условий. При таких глубинах определение положения кровли ММП по регулярной сетке пикетов оказывается невозможным с помощью шупа и трудоемким с помощью бурения. В такой ситуации главный объем информации об особенностях залегания в разрезе кровли ММП и уровня грунтовых вод был получен с использованием предложенного комплекса сейсмических и георадарных методов. С их помощью установлены также плановые границы исчезновения из разреза ММП. На участке выполнено два цикла режимных георадарных исследований на площадке CALM в 2015 и 2016г.г., которые зафиксировали существенные временные изменения.

Результаты геофизических исследований на этих участках позволили получить большой объем данных об особенностях залегания ММП в области их островного распространения. Полученные данные могут являться источником дополнительной информации для уточнения и восстановления динамики верхних горизонтов ММП на данной территории.

Углеводороды в водах и осадках во фронтальной зоне река-море в арктических морях.

*И.А. Немировская, З.Ю. Реджепова
Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН*

Обобщены многолетние данные (2007–2016 гг.) по изучению алифатических и полициклических ароматических углеводородов (УВ) в воде и донных осадках в сопоставлении с содержанием липидов, C_{org} , хлорофилла «а» на геохимическом барьере река (Северная Двина, Обь, Енисей, Лена) – море. Установлено резкое снижение концентраций и выпадение антропогенных углеводородов, так же как взвеси и других органических соединений, при смешении речных вод с морскими. «Потери» в концентрациях на геохимическом барьере река–море могут достигать 98.1% (максимум для района Обская губа–Карское море). При этом в речных водах во многих случаях содержание УВ превышало ПДК для нефтяных УВ – 50 мкг/л. В морских водах их концентрации значительно ниже.

Геохимический барьер река–море выступает в качестве фильтра, который предотвращает попадание в открытые морские воды терригенных частиц взвеси и связанных с ними загрязнений. На распределение УВ здесь большое влияние оказывает не только поступление нефтяных загрязняющих веществ, но и продуктивность района, и количество выносимой рекой взвеси, а также лунный цикл (прилив, отлив). Поэтому от июля к августу уменьшился диапазон концентраций в устье Северной Двины. Концентрации АУВ и ПАУ в поверхностных водах зависят от сезона (паводок, межень) и от времени суток (прилив, отлив).

Кроме того, большое значение оказывает характер пород водосбора и зарегулированность стока реки. В частности, в устье Енисея концентрации как алифатических УВ, так и ПАУ, в поверхностных водах и осадках, изменялись в меньшем диапазоне, чем в устьевой области Оби. В отличие от Оби, сток Енисея зарегулирован, в результате произошло снижение поступления наносов более чем в 2 раза – с 13 млн. т/год до 4.9 млн. т/год

В процессе седиментации изменяется состав алканов и ПАУ. Если во взвеси доминируют автохтонные гомологи, то в осадках аллохтонные. В отдельных случаях состав алканов осадков становился бимодальным. В процессе седиментации количество автохтонных алканов уменьшается. Поэтому в осадках преобладают, как правило, более устойчивые аллохтонные (терригенные) алканы, связанные с наземной растительностью. Из-за активных процессов на границе вода–дно в составе алканов наблюдалось два максимума – в низкомолекулярной и высокомолекулярной областях, а. Трансформация антропогенных УВ, транспортируемых реками, несмотря на низкие температуры в морской среде, происходит довольно быстро. Микропланктон высоких широт активно усваивает и перерабатывает ОВ из-за низких величин энергии активации основных реакций метаболизма (3–6 ккал/М), сопоставимых с интенсивностью обмена в теплых водах. Полученные данные противоречат распространенному мнению, что в прибрежной полосе арктических морей существуют многочисленные «горячие точки» с максимальным загрязнением Обь-Енисейского района. Возможно, они существуют в водосборе рек Карского моря, и более значимым процессом загрязнения вод и донных осадков становится дальний перенос загрязняющих веществ с водами протоков, пересекающих районы нефтедобычи. Нефтяные УВ повышают в воде и осадках их уровень, создавая тем самым современный углеводородный фон.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 17-05-00356) и госзадания 0149-2014-0038 «Геолого-геохимические исследования природных и антропогенных процессов в воде, взвесах и донных осадках морских акваторий, в том числе в окраинных районах Мирового океана».

Метан в подземных льдах и мерзлых отложениях полуострова Ямал и шельфе Карского моря

И.Д. Стрелецкая¹, А.А. Васильев^{2,3}, Г.Е.Облогов^{2,3}

¹*Московский государственный университет, географический ф-т*

²*Институт криосферы Земли СО РАН*

³*Тюменский государственный университет*

Газ в подземных льдах в виде воздушных пузырьков и в порах отрицательно температурных пород являются индикатором условий криогенеза, а количество и состав газовых включений может отражать изменения природы Арктики в прошлом. Внимание к составу и концентрации газа в криогенной толще связано с проблемой увеличения парниковых газов в атмосфере при деградации мерзлоты. В криолитозоне законсервировано значительное количество газов, в первую очередь метана. Газы в воздушной и растворенной формах находились в отложениях до промерзания и сохранились в виде пузырьков во льде и поровом пространстве пород. Процессы метанообразования могут продолжаться и при отрицательных температурах. О высоком содержании метана в криогенной толще свидетельствуют результаты бурения промысловых и параметрических скважин на полуострове Ямал. Крупные залежи подземных льдов характерная составляющая четвертичных разрезов не только континентальной части Западной Арктики, но и прилегающего шельфа.

Полигонально-жильные льды (ПЖЛ) и пластовые льды (ПЛ) и мерзлые отложения содержат газовые включения. Кроме не углеводородных газов (углекислого газа, кислорода, азота и др.), во льдах и отложениях содержатся углеводородные газы (преимущественно метан). Концентрация метана во льду и породах существенно превышает его концентрацию в атмосфере.

В трех береговых разрезах и в одной точке на шельфе Карского моря исследован состав и свойства подземных льдов и мерзлых отложений, включая газовый состав и концентрацию метана. Образцы льда для определения газового состава были взяты из разновозрастных ПЖЛ и ПЛ, вмещающих и перекрывающих льды отложений в мобильных холодильниках переправлены в лабораторию литологии и геохимии ВНИИОкеангеология (г. Санкт-Петербург). В полевых условиях 58 монолитов дегазированы в 150 мл шприцах, а газ собран методом «head space».

Метан во льду и мерзлых отложениях распределен неравномерно, разница в содержании газа в зависимости от насыщенности льда пузырьками может различаться в сотни раз. В пластовых льдах количество достигало 23352 ppmV, в среднем составляя 6117 ppm. На порядок меньше метана содержится в пузырьках голоценовых и неоплейстоценовых ПЖЛ (до 489ppmV), в сегрегационных льдах метана еще меньше (132 ppmV). и вмещающих ПЖЛ отложениях (до 460ppmV). В песчано-глинистых мерзлых морских отложениях в среднем метана 2584 -3330ppmV. Изотопный состав метана в подземных льдах и мерзлых морских отложениях на побережье и шельфе Карского моря указывает на одинаковый бактериальный генезис газа. Количество биогенного метана в пластовых льдах на порядки превышающие содержание метана в глетчерном льде, что исключает ледниковый генезис пластовых льдов Западного Ямала.

Метан, содержащийся в пластах льда и мерзлых четвертичных отложениях, при повышении температуры и оттаивании мерзлоты снизу, занимает освободившиеся полости и каверны, накапливается и продуцируется в толще дисперсных отложений на глубинах 80-130 м. Газопроявления на дне Карского моря и образование воронок газового выброса на суше связаны с высвобождением законсервированного биогенного метана. Исследования поддержаны РФФИ грант 16-05-00612. Частичная финансовая поддержка оказана в рамках Государственного задания по теме «Изменение криосферы Земли под влиянием природных факторов и техногенеза» НИР АААА-А16-116032810095-6.

Определение свойств многолетнемерзлых пород выполнено при поддержке гранта РФФ № 16-17-102.

Мерзлота и метан в районе дельты р. Лены.

Д.Ю. Большиянов¹, М.Н. Григорьев², В. Шнайдер³, Г. Штофф³.

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

²Институт мерзлотоведения Сибирского отделения РАН

³Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Потсдам, Германия

По результатам многолетнего мониторинга динамики деятельного слоя многолетнемёрзлых пород, буровых работ в дельте и на акватории моря Лаптевых установлены следующие закономерности.

1. Динамика протаивания деятельного слоя грунта на полигоне острова Самойловского за 15 лет наблюдений не имеет тенденции к однонаправленному увеличению слоя, а испытывает колебания от 40 до 57 см с периодом 8-9 лет.

2. В скважине глубиной 26 метров на о. Самойловском наблюдается рост температур мерзлых пород на с 2006 по 2016 г.г. на 0,7-1,5 градуса, но рост температур может быть обусловлен более ранними волнами тепла.

3. По данным бурения кровля вечномёрзлых пород обнаруживается под дном моря Лаптевых только в пределах прибрежной полосы шириной до 15 км и на глубину до 60-70 метров.

4. Эмиссия метана в районе дельты Лены осуществляется по зонам разломов земной коры из более глубоких частей литосферы.

5. В районе дельты нет постоянных аномалий содержания метана в атмосфере в отличие от заметных аномалий в морской воде.

6. Круговорот углерода захватывает не только гидросферу и атмосферу, но и литосферу.

Оценка влияния возможных изменений климата на состояние субаквальных газогидратов в Арктике.

В.В. Малахова¹, Г.А. Платов¹, Е.Н. Голубева¹, А.В. Елисеев²

¹*Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,*

²*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва*

Последние десятилетия характеризуются значительными изменениями климата, наиболее выраженными в полярных широтах северного полушария. Среди них - статистически значимый положительный линейный тренд среднегодовой температуры воздуха за период 1936–2007 гг., значительное повышение температуры поступающих в Северный Ледовитый океан (СЛО) атлантических вод, деградация подводной мерзлоты и разрушение берегов арктических морей. Происходящее потепление может привести к нарушению термобарической устойчивости газогидратов метана в донных отложениях и дальнейшему их разрушению с дополнительной эмиссией метана в придонный слой океана и в атмосферу. Возрастающий интерес к изучению этого компонента атмосферного газа объясняется более высокой радиационной активностью метана по сравнению с углекислым газом.

Для исследования влияния последствий изменения климата на термохалинную структуру СЛО, его ледовый покров, состояние зоны стабильности газовых гидратов были проведены сценарные расчеты на основе региональной модели Северный Ледовитый океан – Северная Атлантика (СЛО-СА), разработанной в ИВМиМГ СО РАН. Атмосферное воздействие было задано по результатам расчетов с моделями ансамбля CMIP5 при сценарии антропогенного воздействия RCP 8.5. Были выбраны модели CNRM-CM5, IPSL-CM5B-LR, MPI-ESM-LR, GFDL-CM3, INM-CM4, BCC-CSM-1.1. Для оценки зоны стабильности газовых гидратов проведен расчет термобарических условий в верхнем 1000 метровом слое донных отложений.

В указанных расчетах происходит значительное повышение температуры воздуха в полярных районах, что приводит к сокращению и исчезновению морского льда СЛО в летние месяцы и к повышению температуры верхнего слоя океана. Большинство проведенных экспериментов с разной степенью убедительности показывают, что на шельфе СЛО тепловой сигнал из поверхностного слоя постепенно проникает в более глубокие слои воды. Повышение температуры промежуточного слоя СЛО обусловлено пространственным распределением теплых атлантических вод, с различной интенсивностью поступающих через пролив Фрама и Баренцево море.

Получены оценки возможных изменений зоны стабильности субаквальных газовых гидратов в СЛО. По результатам проведенных расчетов метаногидраты, присутствующие на морских глубинах 250-500 м, наиболее подвержены тепловому воздействию. Потепление в слое атлантических водных масс будет оказывать основное влияние на состояние арктических газовых гидратов. По нашим оценкам, повышение температуры придонной воды в этих областях может привести к диссоциации газовых гидратов в верхнем 100-метровом слое донных отложений до конца 21 века.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов РФФИ (№ 15-05-02457А, №17-05-00396А, №17-05-00382А).

Локальный прогрев толщи многолетнемёрзлых пород, как одна из причин образования воронок газового выброса в криолитозоне.

*А.Н. Хименков, Д.О. Сергеев, Г.С. Типенко
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева*

Обнаружение воронок газового выброса на севере Западной Сибири выявил значительные разногласия по поводу источников тепла, вызывающего диссоциацию газовых гидратов. Большинство исследователей связывают нагревание многолетнемёрзлых пород на глубинах в десятки метров с потеплением климата. Анализ данных по температурам многолетнемёрзлых пород, замеренным в глубоких скважинах (стационар Марре-Сале) и проведённые модельные расчёты (Г.С. Типенко) показали недостаточность возмущающих воздействий климатических изменений для возможности разложения газовых гидратов на глубинах, соответствующих высоте кратера (около 60м).

Другими источниками тепла, которое способно проникать на значительные глубины многолетнемёрзлых толщ, являются озёра глубиной более толщины ледяного покрова. Существуют лишь единичные изменения температурного поля в субаквальных озёрных осадках криолитозоны. В докладе анализируются данные по исследованию озера Иллисарвик, расположенного в дельте р. Маккензи. В озере размером 300 x 600 с максимальной глубиной 4,5 метра. Среднегодовая температура мёрзлых пород на прилегающих к озеру территориях находится в диапазоне – 8 - -10°C. Мощность мерзлоты – 400 – 600м. В глубоководной части озера кровля мёрзлых пород залегает на глубине 20 – 30м. Температура мёрзлых пород понижается до -3 на глубине около 90 м ниже дна озера.

Для севера Западной Сибири отепляющее влияние озера на многолетнемёрзлые породы можно оценить анализируя температуры в скважинах пробуренных на хасыреях – днищах осушенных озёр, в настоящее время находящихся в субэвральном состоянии. Температуры, замеренные на поверхности хасыреев, на глубине 60-80м находятся в диапазоне: -3 - -2,5°C, для III морской террасы и -1,8 - -1,6°C для поймы. Многолетнемёрзлые породы вне зоны озёр с поверхностными температурами около - 5°C, на глубине 60-80м, находятся для III морской террасы и поймы в диапазоне -5,5 - -5°C.

С помощью сейсмического зондирования канадским исследователям удалось выяснить, что зоны отепления под озёрами имеют форму перевёрнутых конусов.

Проведённые Г.С. Типенко расчёты стационарного состояния температурного поля при различном радиусе озера и среднегодовой температуры воды в нём показали, что для озера шириной до 90 м многолетнемёрзлые породы не протаивают полностью. Для озера шириной 45м, что соответствует диаметру основания бугра над Ямальской воронкой. По расчётам на глубине 60-8-м температура пород находится в диапазоне -2 - -2,5°C.

Локально, под термокарстовыми озёрами формируются зоны растепления, глубина которых, двигаясь вниз, захватывает зоны консервации палеогидратов, вызывая их диссоциацию. Повышение температуры в многолетнемёрзлых породах достигает 3-4°C, что выводит газогидраты, включённые в массив многолетнемёрзлых пород, из состояния термодинамического равновесия. Диссоциация газогидратов и выделения газовой составляющей приводит к резкому уменьшению теплопроводности и формированию теплового барьера. Это увеличивает разогрев мёрзлой толщи за счёт подвода тепла поступающего от озера.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 17-05-00294)

Формирование и распространение многолетней мерзлоты под арктическими лагунами

М.Н. Григорьев^{1,2}, Г.Т. Максимов^{1,2}

¹*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН*

²*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН*

Особенности формирования многолетнемерзлых пород под морскими арктическими лагунами изучены пока совершенно недостаточно. Под лагунами могут залегать, как реликтовые плейстоценовые, так и новообразованные многолетнемерзлые толщи. Процессы образования и деградации мерзлоты под изучаемыми акваториями осложняются изменчивым гидрохимическим режимом придонной воды (в период открытой воды) в связи с флуктуациями ее солености из-за частых ветровых приливов и отливов. Соленость воды в лагунах обычно выше, чем в море и морские соли способны проникать на значительную глубину в донные отложения, дезинтегрируя мерзлоту даже при температуре минус 2°C.

Институт мерзлотоведения СО РАН проводил изучение вечной мерзлоты буровыми и геофизическими методами в прибрежно-шельфовой зоне моря Лаптевых, в частности, под лагунами на Быковском п-ове и на западном морском краю дельты Лены в 80-е и 90-е годы прошлого столетия, а затем в 2012-2017 годах. Обычно исследовались лагуны, сформированные на месте термокарстовых котловин, которые были соединены с морем в связи с отступанием морских берегов, а затем отчленены от него косами и барами.

Кровля подводной (подлагунной) мерзлоты встречалась как на первых метрах под дном, так и вообще не обнаруживалась даже глубже 40-50 м. В талых и мерзлых породах часто вскрываются слои, насыщенные органикой (до 20-30 весовых процентов). Верхние пачки донных отложений состоят, как правило, из плотных илов мощностью в несколько метров. В целом, подводные толщи изучаемых лагун сформированы процессами озерного осадконакопления в прошлом (в тот период, когда термокарстовое озеро было не связано с морем), а также являются продуктом процессов современного заполнения лагуны песчано-илистым материалом во время штормовых морских нагонов. Эта пачка осадков характеризуется наиболее высоким содержанием органического материала - до 4-5 весовых процентов (в отдельных слоях кратно выше), концентрация которого книзу резко уменьшается до 1-0,1.

Оценочная скорость понижения кровли деградирующей подводной мерзлоты составляет от долей сантиметра до 10 сантиметров в год. На мелководье, при глубине воды менее 2 м (средняя толщина лагунного льда), формируется новообразованная мерзлота за счет интенсивного промерзания донных грунтов через лед в течение семи зимних месяцев, нарастая вглубь. Температура таких пород на глубине от нескольких до 30 м составляет около минус 3 – минус 7°C. Для реликтовой мерзлоты, которая деградирует под лагуной глубиной более 2,5 м, характерны температуры минус 1-2°C.

Распространение и мощность мерзлоты под лагунами контролируется такими параметрами как глубина лагуны, соленость и температура придонной воды, время существования водоема, особенности современного гидрологического режима лагуны, а также характер развития бывшего термокарстового озера.

В последние годы работы по этой теме выполнялись в рамках Российско-германской экспедиций «Лена», в совместных экспедициях с ТОИ ДВО РАН, МГУ, ИО РАН, а также по программе ФНИ СО РАН VIII.75.1.2 и проектам СО РАН II.2.133.1. и II.2.133.2.

Ботанический состав голоценового торфа хасырея севера Гыданского полуострова

А.О. Кузнецова, А.С. Афонин, Я.В. Тихонравова, М. Нарушко, Е.А. Слагода

¹Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН

²Институт проблем освоения севера ТюмНЦ СО РАН

Торфяные отложения отражают климатические и гидрологические условия, а их растительный состав используют для реконструкции локальные природной обстановки на участках торфонакопления. В 2016 году в береговом уступе хасырея на террасе в низовьях р. Гыда был изучен разрез мерзлых слоистых заторфованных супесей, слоистых песков с полигонально-жильным льдом и покровным слоем торфа.

На глубине 197-195 см в заторфованной супеси со слоистостью волновой ряби в линзах и слоях (толщиной 1-5 см) залегают намытые растительные остатки хорошей сохранности, захороненные близко к месту произрастания, в период накопления осадков. Верхняя часть разреза отложений хасырея представлена слоем автохтонного торфа мощностью 23 см, внизу нарушенного криотурбациями, на поверхности с кочками.

Для определения ботанического состава были отобраны растительные остатки с глубины 197-195 см, и монолит торфа, который разделен на 6 частей по видимым границам - наклонным параллельным друг другу и поверхности с кочками. Для каждой пробы торфа были определены степень разложения и ботанический состав.

В образце с глубины 197 см среди растений установлены осока, хвощ пушица и преобладающий *Drepanocladus polygamus*. Данное сообщество растений характерно для мест с высоким увлажнением, а этот вид мха - для обстановки с повышенным содержанием минеральных солей - карбоната кальция в растворах и почве. Эти особенности слоистости отложений и ботанического состава растений, указывают на заливной режим их накопления, на затопление хасырея, вероятно, пойменными гидрокарбонатно кальциевыми водами р. Гыда.

Нижний слой монолита торфа с глубины 23-20 см разложенный, содержит остатки корешков пушицы, осоки, хвоща, вейника и брусники, присутствуют листья мха *Drepanocladus polygamus*. В желтовато-коричневом разложенном торфе на глубине 20-12 см кроме перечисленных растений появляется незначительное количество березки и уменьшается количество мха *Drepanocladus polygamus*. Эти слои соответствуют началу торфонакопления и завершению заливного пойменного режима накопления осадков.

Торф с линзами светло-серого мелкого песка на глубине 12-8 см менее разложенный. Об этом свидетельствуют сохранившиеся волоски на корешках осок. В этом сообществе растений – наибольшее содержание остатков березки, появляется водяника; полностью исчезает мох *Drepanocladus*. В желтовато-коричневом разложенном торфе с примесями супеси с глубины 8 -5 см, кроме перечисленных растений появляется белокопытник. Набор растений в этих слоях торфа характерен для комфортной обстановки произрастания карликовой березки, белокопытника на торфяных и осоковых болотах типичной тундры: более теплых и сухих условий условий, без длительного застойного увлажнения и, вероятно, без затопления паводковыми речными водами.

Рыхлый темно-коричневый торф (с глубин 5-3 см и 0-3 см) включает примеси, слой песка и корни современных растений. Растения-торфообразователи включают голубику, березку, пушицу, осоку, хвощ, белокопытник, княженику и мох сфагнум. В ботаническом составе уменьшается количество березки и появляется мох, характерный для кислых увлажненных субстратов. Верхние слои торфа накапливались в субэраальных условиях хасырея, который не затоплялся водами р. Гыда.

Ботанический состав торфа и растительных остатков в отложениях отличается от современной растительности в хасырее, что обусловлено изменениями климатических условий и локальной обстановки их накопления.

Определение объёмной влажности активного слоя с помощью георадиолокации.

М.С. Судакова^{1,2}, М.Р. Садуртдинов¹, А.М. Царев¹, А.Г. Скворцов¹, Г.В. Малкова¹

¹*Институт криосферы Земли СО РАН*

²*Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, РФ.*

Содержание воды в активном слое - важная инженерно-геокриологическая и экологическая характеристика. Влажностью определяется приповерхностный энергетический баланс и течение ряда перигляциальных процессов.

В результате контроля влажности в активном слое с помощью прямых измерений (термостатно-весовым способом) измеренное в отдельной точке на определённой глубине значение присваивается большому объёму грунта или почвы. С возрастанием мощности сезонноталого слоя (СТС) должны увеличиваться и ошибки определения влажности таким способом. Кроме этого, данный метод требует больших затрат времени и труда.

Временные и латеральные изменения влажности почвы можно контролировать с помощью георадиолокации. По значениям диэлектрической проницаемости (ϵ) возможно рассчитать объёмную влажность по формуле Топпа:

$$W_{об} = -5,3 \cdot 10^{-2} + 2,92 \cdot 10^{-2} \epsilon - 5,5 \cdot 10^{-4} \epsilon^2 + 4,3 \cdot 10^{-6} \epsilon^3$$

Данная формула считается универсальной для расчёта влажности по диэлектрической проницаемости, измеренной в георадарном диапазоне частот. В георадиолокации значение диэлектрической проницаемости рассчитывается по значению скорости распространения электромагнитных волн в разрезе. Таким образом, задача определения влажности в СТС сводится к определению скорости электромагнитных волн в нём.

В 2015 году на стационаре Кашин (ЯНАО, дельта р. Печора) проводились измерения мощности активного слоя шупом, измерения весовой влажности термостатно-весовым способом и георадиолокационная съёмка. Для расчёта и построения карты распространения скорости электромагнитных волн были использованы данные о мощности СТС, полученные с помощью шупа. Далее по формуле Топпа были рассчитаны значения объёмной влажности в активном слое. На картах влажности, измеренной прямым способом и рассчитанной по данным георадиолокации, характерные участки высокой и низкой влажности практически совпадают. Значения объёмной влажности всего активного слоя влажности больше весовой на глубине 20 см, что принципиально правильно. Сходство карт влажности, полученных прямыми измерениями и с помощью георадиолокации, позволяют утверждать, что георадиолокация может быть использована для оценки влажности талого слоя.

Если подошва СТС расположена на глубине более 1,5 м, определение мощности СТС с помощью шупа невозможно. В данной ситуации целесообразно использовать метод георадиолокации, проведя измерения с разными расстояниями между источником и приёмником. Такие работы были выполнены на участке Шапкино в 2016 году. Кроме георадарных работ на этом участке была пробурена скважина с отбором керна, что позволило провести верификацию результатов георадиолокации. Полученные значения скорости были использованы для расчета объёмной влажности талого слоя.

В результате работ показана принципиальная возможность измерения объёмной влажности активного слоя с помощью метода георадиолокации. Сходство карт влажности, полученных по данным георадиолокации и по прямым наблюдениям на участке Кашин, позволяет сделать вывод об эффективности применения георадиолокации для оценки площадной изменчивости влажности пород в талом слое. Если мощность активного слоя больше 1,5 м, как на участке Шапкино, то измерения мощности шупом можно заменить на георадиолокационные зондирования без потери точности.

Структура морского льда в прибрежной зоне Байдарацкой губы

Я.В. Тихонравова¹, Е.А. Слагода^{1,2,3}

¹Институт криосферы Земли СО РАН,

²Тюменский государственный университет

³Тюменский индустриальный университет

Строение залежей плейстоценовых, нижнеголоценовых подземных льдов и мерзлых толщ часто осложняют внедренные позднеголоценовые новообразования льда. Для диагностирования погребенных льдов на побережье необходимо изучение микростроения прибрежно-морских льдов, которые имеют большую вероятность быть захоронёнными.

По материалам бурения 2014 года была изучена структура морского льда в прибрежной зоне Байдарацкой губы в районе полярной станции Марре-Сале. Ледяной керн, мощностью 1,8 м, был отобран в 900 м от береговой зоны, под снежным покровом, мощностью 30 см. Рельеф дна прибрежной зоны с ложбинами, глубиной 3 м, разделён сериями подводных вдольбереговых валов, создающих «защитный барьер», где в период становления припая аккумулируются торосы и стамухи.

Была изучена верхняя часть ледяного керна, мощностью 0,62 м, в поляризованном свете с вычислением количественных структурных характеристик. В строении морского льда выделено 9 горизонтальных слоев:

Слой 1 – кристаллы льда имеют изометричную форму, хаотично ориентированы, средний размер поперечника 0,2 см. Нижняя граница слоя плавная, постепенная. Мощность 2,5 см.

Слой 2 – состоит из двух видов кристаллов: ориентированных вертикально удлиненных столбчатых выклинивающиеся кристаллов со средним размером поперечника 0,7 см; расположенных хаотично изометричных кристаллов со средним размером поперечника 0,3 см. Вероятно, льдовыделение шло в условиях нарушения стабильного роста столбчатых кристаллов, в следствии течений и поступления к фронту кристаллизации мелких изометричных кристаллов внутриводного льда. Граница с нижележащим слоем неровная. Мощность 9,0 см.

Слой 3 – крупные выклинивающиеся длиннопризматические кристаллы, хаотично ориентированные, средний размер поперечника 1,3 см. Ровная граница с нижележащим слоем, в проходящем свете отмечены рассеянные минеральные примеси. Мощность 18 см.

Слой 4 – хаотично ориентированные неоднородные по размеру изометричные и удлиненные кристаллы, со средним размером поперечника 0,3 см. Нижняя граница слоя ровная горизонтальная. Мощность 9,0 см.

Слой 5 – параллельно-шестоватые кристаллы с индивидуальным выклиниванием, средний размер поперечника 1,0 см. Нижняя граница ровная горизонтальная. Мощность 8,0 см.

Слой 6 – хаотично ориентированные изометричные кристаллы, средний размер поперечника 0,2 см. Нижняя граница волнистая. Мощность 1,0 см.

Слой 7 – кристаллы подобны слою 5, но меньше по размерам – 0,5 см. Нижняя граница резкая горизонтальная. Мощность 1,5 см.

Слой 8 – средний размер поперечника 0,2 см. Нижняя граница плавная горизонтальная. Мощность 2,0 см.

Слой 9 – неровные грани кристаллов (фестончатые), средний размер поперечника 0,3 см. Мощность > 3,5 см.

Верхняя часть изученного однолетнего прибрежного морского льда характеризуется чередованием слоёв с различными размерами и формами кристаллов льда, наличием минеральных примесей и распределением пузырьков воздуха. Слоистость обусловлена короткопериодными температурными колебаниями и турбулентностью внутриводных

течений, взмучивающих минеральные донные примеси вверх с образованием новых очагов кристаллизации.

Динамика берегов Печорского и Карского морей в эпоху глобального потепления

*Огородов С.А., Шабанова Н.Н., Алексютина Д.М., Баранская А.В., Белова Н.Г.
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Побережье и шельф Печорского и Карского морей в связи со строительством многочисленных сооружений нефтегазовой и нефтегазотранспортной инфраструктуры в настоящее время являются районами первоочередного освоения в Арктической зоне Российской Федерации. Определение среднемноголетних величин отступления берегов и межгодовой изменчивости этого показателя – важное звено в решении вопроса прогнозирования вертикальных и плановых деформаций рельефа береговой зоны. Грамотный прогноз динамики рельефа береговой зоны необходим как на стадии выбора места (трассы) под строительство инженерного сооружения, так и для обеспечения геотехнической безопасности и охраны окружающей среды в период его эксплуатации.

Берега арктических морей имеют две отличительные особенности: на значительном протяжении они сложены многолетнемерзлыми дисперсными отложениями; большую часть года берега блокированы морским льдом от воздействия активных гидрометеорологических факторов (волнения и приливов). В естественных условиях такие берега могут разрушаться со скоростью 0,5-2 м в год, редко более. В эпоху глобального потепления и уменьшения площади ледяного покрова воздействие термического и волноэнергетического факторов заметно усиливается за счет увеличения длительности динамически активного периода и длины разгона волн. Рост температуры воздуха и воды, расширение площади открытой воды, увеличение вероятности возникновения экстремальных штормовых нагонов в результате более продолжительности динамически активного безледного периода создают благоприятные условия для ускоренного разрушения берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами.

Мониторинг динамики берегов, ведущийся Лабораторией геоэкологии Севера на ключевых участках нефтегазового освоения Печорского и Карского морей с начала 80-х годов прошлого века, а также анализ разновременных аэрокосмических материалов, показали, что, начиная с 2005 года на фоне существенной межгодовой изменчивости отмечен рост скоростей абразии берегов на естественных ненарушенных участках берега в 1,5 раза, на техногенно нарушенных – в 2 раза и более. Техногенные нарушения, среди которых следует отметить: изъятие наносов с пляжа, осушки и подводного склона; механические деформации почвенно-растительного покрова и берегового уступа; нарушение термического состояния грунтов; нарушение режима транспорта наносов; неграмотные берегозащитные мероприятия, – существенно ослабляют естественную устойчивость берегов. На фоне климатически обусловленного роста термического и волнового абразионного потенциала вышеобозначенные факторы запускают триггерный механизм ускорения разрушения берегов.

Наблюдаемые в XXI веке скорости абразии берегов Печорского и Карского морей, были бы еще выше, если бы потенциал воздействия гидрометеорологических факторов был реализован в полной мере. Так, в западном секторе Российской Арктики отмечается незначительное снижение средней скорости ветра – главного генератора волнового воздействия. Несмотря на общий рост суммарной за динамически активный период волновой энергии имеет место рассредоточение штормовых событий в пределах более длинного динамически активного периода (ранее отмечался четко выраженный осенний пик) и снижение интенсивности штормовых нагонов. Часть штормов происходит в период не полного очищения акватории ото льда, когда берега еще не подверглись термоденудации, другие – напротив, в период, вторичного осеннего промерзания. Кроме того, выявлена частичная метахронность воздействия термического фактора, ответственного за термоденудацию, и ветроволнового фактора, ответственного за

абразию. В результате термоабразийный потенциал реализуется лишь частично. Исследование проведено при поддержке РФФИ, проект № 16-17-00034.

Проблемы датирования мерзлых отложений острова Белый Карского моря.

Е.А. Слагода^{1,2,3}, Г.В. Симонова⁴, Я.В. Тихонравова¹, А.О. Кузнецова¹

¹*Институт криосферы Земли СО РАН,*

²*Тюменский государственный университет,*

³*Тюменский индустриальный университет,*

⁴*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН*

Радиоуглеродное датирование прибрежно-морских отложений криолитозоны арктических остров остается сложной задачей палеогеография четвертичного периода. Прибрежно-морские отложения островов отличаются латеральной изменчивостью, сочетанием субаквальных, субэвальных фаций и разных генетических типов осадков, совместным захоронением морских и наземных органических остатков. В последнее время получены датировки отложений в Карском регионе: в низовьях Енисея, и севере п-ва Гыдан, на островов Сибирякова, Белый.

В 2015 гг. на о. Белый в береговых уступах западного побережья, на севере – вдоль протоки Рогозина, на юге – в районе «столба Евладова», изучены разрезы, структурно-текстурные особенности, гранулометрический состав мерзлых и талых отложений, определены условия захоронения и залегания растительных остатков, отобрана пробы на радиоуглеродный анализ. Расчистки расположены на лайде (0-4 м), в пределах относительно возвышенных участков поверхности, пологих склонов и понижений хасыреев на I-й (3-7 м) и II-й (6-12 м) морских террасах острова.

Получены серии радиоуглеродных дат по углероду из автохтонных, аллохтонных переотложенных и намытых растительных остатков, произраставших на суше, в целом, синхронно накоплению осадков. При оценке возраста толщ были учтены не только фациально-генетический тип отложений и тип захоронения органики, но и преобразования залегания, биотурбации, вторичные изменения изотопного состава углерода при промерзании - протаивании.

Изученная мерзлая толща на высоком, низком террасовых уровнях и лайде о. Белый, представлена как прибрежно-морскими засоленными и опресненными, так и субэвральными озерными, делювиальными, эоловыми отложениями. Каргинский возраст отложений цоколя всех террасовых уровней подтвержден широким распространением намытых растительных остатков, синхронно произраставших на прилегающей к морю суше во второй половине МИС-3, с датами calBP~33-26 тыс. л., и переотложенных аллохтонной древесины, детрита с датами calBP~34-45 тыс. л.

На сартанский возраст средней пачки нижнего террасового уровня указывают две даты calBP~22-25 тыс л. из автохтонных остатков в биотурбации субэвральных отложений и даты calBP~24-26 тыс л. из намытых остатков прибрежно-морских отложений. В строении и ботаническом составе погребенного хасырея отражена смена теплых и холодных субэвральных условий от оптимума к суббореальному похолоданию голоцена, а в покровном торфе на лайде – современные условия подтопления морем.

Предложенная схема залегания и распространения каргинских, сартанских и голоценовых отложений, фациально-генетических типов подтверждает начало и продвижение с юга на север регрессии моря на рубеже каргинско - сартанского времени, развитие термокарста и термоденудации на суше в первой половине голоцена при формировании прибрежно-морской равнины о. Белый.

Изменения геокриологических и ландшафтных условий в северной тайге Западной Сибири, нарушенных линейным строительством.

Е.В. Устинова^{1,2}, О.Е. Пономарева¹, Н.М. Бердников¹, А.Г. Гравис¹, К.С. Кузьменко³

¹*Институт криосферы Земли СО РАН,*

²*Тюменский индустриальный университет,*

³*Тюменский государственный университет.*

В связи с интенсивным освоением нефтегазовых районов севера Западной Сибири необходимы изучение и прогноз последствий хозяйственной деятельности с целью обеспечения и разработки природоохранных мероприятий. Так как добыча углеводородного сырья на севере Тюменской области производится в районах распространения многолетнемерзлых пород, становится необходимым изучение термодинамического состояния и дальнейшее прогнозирование развития ландшафтно-геологической среды, которые должны опираться на своевременно полученную во время проведения инженерно-геологических изысканий, качественную инженерно-геологическую информацию.

В результате длительного мониторинга геокриологических исследований на Надымском стационаре было установлено, что с 1970 г. происходит направленный рост температуры многолетнемерзлых пород (ММП) в слое годовых колебаний, обусловленный потеплением климата, постепенно увеличивается глубина максимального сезонного оттаивания грунтов СТС. К 2015 г. в северной тайге Западной Сибири на многих природно-территориальных комплексах температура ММП в слое годовых колебаний приблизилась к 0°C, интенсивность криогенного пучения снизилась, плановые размеры молодых невысоких бугров пучения сократились. На приподнятых дренированных плоскобугристых торфяниках зафиксировано образование участков с мерзлотой несливающегося типа.

При условии сохранения установившейся с 1970 г. тенденции изменения климата, многие природно-территориальные комплексы островной криолитозоны Западной Сибири в ближайшие 5-10 лет могут оказаться на грани деградации, что в дальнейшем вызовет разрушение инфраструктуры района.

Имеющиеся фактические данные позволяют предварительно произвести дифференциацию природных комплексов по скорости роста температуры ММП в слое годовых колебаний на 2 группы: с быстро изменяющимися температурами и медленно меняющимися температурами. Теоретически, наибольшую опасность для проектируемой хозяйственной деятельности представляют природные комплексы первой группы. Изучение динамики их теплового поля представляет большую ценность для выработки рекомендаций рационального природопользования

Практическую значимость также представляет исследование криогенных природных комплексов, в которых температуры ММП меняются мало, для выявления факторов, задерживающих деградацию мерзлоты, а также нарушенных природных комплексов и их реакции на хозяйственную деятельность.

С 2004 года на Надымском стационаре проводится ландшафтная съемка и создаются ландшафтные карты. На сегодняшний день возможности технологии дешифрирования, включающие методы ландшафтной индикации позволяют изучить более детально геосистемы, подверженные криогенными и посткриогенными процессами, связанными с промерзанием и протаиванием водонасыщенных и льдосодержащих пород, для составления карт прогнозных инженерно-геокриологических условий природно-территориальных комплексов. Такой подход даёт целостное представление о взаимодействии элементов и компонентов природно-территориальных комплексов, представление об их пространственно-временной структуре, функционировании и обмене веществом и энергией между ними. В результате проделанной работы в 2016г была

получена картосхема инженерно-геокриологических условий природно-территориальных комплексов в масштабе 1:25000.

Влияние геокриологических процессов на хозяйственные объекты России в XXI веке

И.В. Чеснокова, Д.О. Сергеев, А.В. Морозова, А.С. Войтенко

¹*Институт водных проблем РАН,*

²*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,*

³*Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова.*

Источником опасности для сельского хозяйства и инфраструктуры России являются не столько аномальные температуры мерзлоты грунтов, сколько геокриологические процессы, активность которых зависит от интенсивности изменений различных характеристик климата, направленных как в сторону их роста, так и уменьшения. С другой стороны, кроме состояния климата на состояние техногенных объектов куда более сильное воздействие оказывает реакция мерзлоты на нарушение условий теплообмена самим сооружением. Анализ оригинальной Карто-схемы проявлений геокриологических процессов, составленной по результатам сотрудничества ИГЭ РАН и Института водных проблем РАН, показывает, что география экономического ущерба, сопряжённого с геокриологическими процессами, не связана ни с районами геокриологических условий, ни с темпами климатических изменений. Неблагоприятные последствия наблюдаются во всех секторах Арктики и вблизи южных границ криолитозоны во всех Федеральных округах, на территории которых существует многолетняя мерзлота.

Становится очевидным, что максимум ущерба не связан с периодом строительства и первыми годами после него, как считалось ранее. Основные объёмы ущербов связаны с длительно эксплуатируемыми сооружениями, особенно объектами линейной инфраструктуры – дорогами и трубопроводами. Этот вывод ставит на повестку дня научную задачу выработки методик оценки стоимости содержания инфраструктурных объектов на территории криолитозоны в условиях меняющихся техногенных нагрузок и климата.

Температура воздуха, наряду с динамикой снежного покрова, скоростью ветра и режимом жидких осадков, оказывает воздействие на состояние многолетней мерзлоты грунтов. Заметим, что на каждой отдельно взятой территории влияние похожих климатических изменений на состояние мерзлоты проявляется не однозначно и этот вопрос остаётся недостаточно изученным. По данным ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета за прошедшее десятилетие устойчивый рост средnezимних температур (относительно среднемноголетних значений за период 1961-1990 г.г.) отмечался в Западном секторе Арктики и Субарктики России и, в последние годы, на Чукотке. Сектор Средней Сибири, Якутии и Северо-Восточные низменности характеризовались вялым, но устойчивым потеплением. Восток Средней Сибири, Забайкалье и Южная Якутия, напротив, демонстрируют тенденцию к современному похолоданию. По среднелетним температурам тенденция потепления с конца 1990-х годов очевидна для всех холодных регионов России. При этом наблюдаются признаки стабилизации этого роста, но с сохранением высокой частоты положительных аномалий среднелетних температур относительно многолетней нормы. По зимним осадкам в последние годы наметилась тенденция их некоторого сокращения в целом по России, это окажет некоторое стабилизирующее действие на рост температуры пород. По летним осадкам наблюдается высокая межгодовая изменчивость их количества в разных регионах с ростом частоты выпадений с высокой интенсивностью. Это приводит к негативным последствиям в виде активизации криогенных склоновых процессов и термоэрозии.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00200)

Следы неоплейстоценовой мерзлоты в Нижнем Поволжье.

И.Д.Стрелецкая¹, Р.Н. Курбанов^{1,3}, В.В.Рогов¹, Н.А.Таратунина², Т.А.Янина¹

¹*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет,*

²*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, геологический факультет,*

Институт географии РАН.

Проявления следов неоплейстоценовой мерзлоты давно известны для всей территории Европы. На равнинных территориях реликтовые мерзлотные образования представлены несколькими типами, среди которых можно отметить полигональные клиновидные структуры (псевдоморфозы по полигонально-жильным льдам, изначально грунтовые жилы, мелкополигональные трещинные образования), солифлюкционные образования и пластические деформации (инволюции и криотурбации). Установлена связь между криогенными образованиями и климатом. Во время криохронов границы мерзлоты занимали свое крайне южное положение – около 46° с.ш. В холодные эпохи накапливались горизонты лёссов, что подтверждается особенностями гранулометрического состава лёссов и проявлениями морозного выветривания.

Свидетельствами подобных холодных условий являются клиновидные образования, хорошо известные по исследованиям лёссов в разрезах Нижней Волги и опубликованные в многочисленных работах прошлого века. В 2017 г. получены новые результаты по опорным разрезам Средняя Ахтуба, Ленинск и Райгород. Работы были организованы Географическим факультетом МГУ. Одна из задач исследования – оценка роли криогенных процессов в формировании лёссовой толщи. Для оценки влияния сезонного и многолетнего промерзания (мерзлотных условий) на формирование лёссов используется морфология клиновидных структур, а также показатель, который характеризует степень участия в формировании отложений процесса криогенного выветривания – коэффициент криогенной контрастности (ККК). Из разрезов лёссовых отложений собрана коллекция образцов для аналитических работ, которые будут выполнены в лаборатории криотрасологии Института криосферы Земли СО РАН.

В разрезах повсеместно встречаются два горизонта с грунтовыми клиньями. Клинья приурочены к горизонтам более темных по цвету лёссов, в разной степени проработанных почвенными процессами. Возраст отложений разбитых клиньями соотносится с МИС 3 и МИС 5а. В первом случае это клинья шириной по верху 30 см и высотой 50-80 см, заполненные вышележащими материалом. К горизонту МИС 5а приурочены ветвящиеся клиновидные структуры шириной по верху 7-20 см и высотой от 80 см до 250 см. Расстояние между грунтовыми клиньями 40-60 см. В почвенных горизонтах наблюдаются нижние части клиньев, основное растрескивание и рост жил происходило при формировании вышележащих лёссов. Время накопления лёссов относится к холодным (ледниковым) эпохам МИС 2 и МИС 4 соответственно. Грунтовые клинья были встречены в четвертичных отложениях и южнее в районах Батаевки и Черного Яра. Широкое распространение грунтовых жил в отложениях позволяет реконструировать условия глубокого промерзания на границе перехода от теплых эпох к холодным в неоплейстоцене.

Исследования поддержаны РНФ проект № 16-17-10103.

Воздействие криогенных процессов на формирование культурных слоев позднепалеолитических стоянок центральных районов Восточно-Европейской равнины.

*Ю.Н. Грибченко, Е.И. Куренкова, В.Е. Тумской
Институт географии РАН*

Восточно-Европейская равнина относится к области интенсивного первичного освоения человеком внетропических пространств. В результате на данной территории сосредоточены многочисленные палеолитические памятники, главным образом, в бассейнах крупных рек и их притоков: Днестра, Дона, Днепра, Печоры и др. Наиболее ранние позднепалеолитические памятники появляются здесь в долинах Дона (Костенковская группа) и Печоры (Мамонтова Курья), большой комплекс стоянок располагается в Днепровском бассейне. Согласно современным данным, время обитания человека на Восточно-Европейской равнине пришлось на период существования здесь наиболее суровых ландшафтно-климатических условий в истории всего плейстоцена. Характерной чертой позднепалеолитических стоянок региона является наличие в их культурных слоях следов многочисленных деформаций, часть из которых связана с различными криогенными процессами. Они отмечаются на целом ряде памятников и, вероятно, играли заметную роль в жизни палеолитических поселений, оказывая влияние на характер организации жилого пространства и миграции людей. В данном сообщении приведены результаты изучения палеомерзлотных образований на некоторых стоянках Деснинской группы (верхний Днепр) Брянской области.

Наиболее древний памятник данного региона **Хотылёво II** (^{14}C возраст 24-22 тыс. л.н.) залегает в основании мощной толщи валдайских лессовидных супесей на водораздельном уровне. Они перекрывают горизонт сложных криогенных деформаций, содержащих остатки гумусового материала ископаемой почвы. Наличие крупных псевдоморфоз мощностью более 3 м, формирующих полигональную сеть в перекрывающих культурный слой лессах, говорит о существовании здесь мерзлых толщ с конца брянского времени, включая период функционирования стоянки.

Более поздняя стоянка **Елисеевичи I** (17-12,5 тыс.л.н.) располагается на второй надпойменной террасе р. Судости (приток Десны). Сложная структура культурного слоя стоянки связана с размещением хозяйственных конструкций и ям, а также с последующими деформациями в период его захоронения при деградации многолетней мерзлоты. Следями палеокриогенных процессов является наличие крупных клиновидных структур, образующих полигональную систему с поперечными размерами полигонов 20-30 м.

Стоянка **Юдиново** располагается на первой надпойменной террасе Судости, она функционировала в позднеледниковое время (^{14}C возраст от 15 до 12 тыс. л.н.). Поселение находилось на слабо выраженном мысе, ограниченном выположенными ложбинами и осложненным позднеплейстоценовыми, предположительно, термокарстовыми западинами. Находки зафиксированы в горизонте слабо выраженного почвообразования, в нижней части которого отмечается наличие мелкополигональной структуры, образованной клиновидными трещинами шириной 2-3 см. Их, происхождение, возможно, связано с формированием структурных грунтов в пределах деятельного слоя.

Таким образом, в строении отложений, как содержащих культурные слои, так и перекрывающих их, присутствуют деформации, многие из которых можно объяснить развитием криогенных процессов. Среди последних наибольшее значение имеют морозобойное растрескивание и формирование связанных с ним изначально-грунтовых жил и псевдоморфоз по жильным льдам, формирование структурных грунтов в деятельном слое, термокарстовые процессы, процессы выпучивания обломочного

материала и другие. Все они приводили к изменению условий первичного залегания как самих культурных слоёв, так и артефактов в их пределах.

Работа выполнена в рамках проекта Президиума РАН «Роль многолетней мерзлоты и оледенений в формировании экосистем арктической зоны».

Природная обстановка в Арктике в крупные потепления начала квартера и переходного периода к голоцену.

*М.А. Фаустова, В.В. Писарева
Институт географии РАН*

Согласно существующим оценкам, среднеглобальная температура приземного слоя атмосферы должна повыситься к середине 21 века на 4-5°C. Наибольшее повышение температуры ожидается в высоких широтах. В связи с этим особый интерес для палеогеографических реконструкций представляет оптимум плиоцена, который можно рассматривать в качестве аналога будущих климатических изменений.

Потепление в раннем плиоцене привело к смещению Гольфстрима к северу примерно на 8° и миграции (5,15 млн.л.н.) тепловодных комплексов фауны на север из Тихоокеанского региона, в то же время в Тихий океан проникает атлантическая фауна (Борзенкова, Зубаков, 1985). Потепление отразилось и на составе растительности. В Исландии получили распространение березово-ольховые редколесья и ивняковые заросли, чередующиеся с участками аркто-степных ассоциаций. В северо-западных районах Западной Европы, а также западных и центральных районах Восточной Европы господствовали хвойно-широколиственные леса с редкими таксодиевыми, секвойей, глиптостробусом и теплоумеренными породами. Зимние температуры здесь повышались до +10°C, летние достигали +28°C, количество осадков составляло около 1000 мм/год. В Западной Сибири в лесах возрастала роль хвойных пород с преобладанием ели, встречались тсуга и теплоумеренные породы. Более поздние потепления установлены для интервалов 3,55-3,4 и 3,275-2,6 млн.л.н. в восточном секторе Арктики по данным исследования образцов из озера Эльгыгытгын (Чукотка). Здесь господствовали темнохвойные леса с елью, сосной, лиственницей, пихтой и тсугой (Андреев и др., 2013). На юге Восточной Сибири, наряду со смешанными темно- и светлохвойными лесами с тсугой, примесью граба, ореха, липы, встречались остепненные участки. На Дальнем Востоке сохранялись редкие таксодиевые.

С началом гелазия (~2.6 млн.л.н) связано глобальное похолодание, которое привело к развитию оледенения на материке, архипелагах и островах, распространению бореальной растительности и инвазии северных элементов флоры. Берега Полярного бассейна были заселены тундровой и лесотундровой растительностью, в Восточной Сибири тундровые ассоциации перемежались со степными сообществами. Во время тегеленского потепления, прерывавшегося похолоданиями, исчез Гренландский ледниковый покров (~2,4 млн.л.н.). Лесная растительность распространилась на север Западной Европы (разрезы формации Мыс Копенгаген) и в центральные районы Восточной Европы – хвойно-широколиственные леса с участием тсуги, тисса, кипарисовых, с подлеском из кустарников *Dierwillia* и *Ligustrum*. Зона тундры отсутствовала. В бассейнах Средней и Нижней Волги, Днепра и Дона существовали лесостепи, а в Приазовье – степи. Среднеиюльская температура могла превышать 10° С, а январская была около 17°C. В Западной Сибири относительно теплые и влажные этапы чередовались с засушливыми. На Чукотке установлено несколько потеплений с распространением сосны и лиственницы для интервала от 2,53-2,55 до 2,2-2,15 млн.л.н.

В отличие от раннего квартера ни одно из потеплений позднеледниковья (беллинг и аллеред) не может рассматриваться как сценарий будущих изменений климата, поскольку в это время существовали континентальные ледниковые покровы и морское оледенение. По составу спорово-пыльцевых спектров и характеру растительности похолодания (ранний, средний и поздний дриас) были довольно сходны на всей территории Северной Европы. Перигляциальные ландшафты были господствующими. В северо-западной Европе наиболее низкие зимние температуры в эпоху позднего дриаса были на 10-13°C ниже современных. Южнее и восточнее отклонения постепенно

уменьшаются, а за Уралом - близки к современным. Отклонения летних температур значительно меньше. Существенное улучшение климата в аллереде способствовало проникновению в Арктику древесных пород и кустарников. В начале голоцена (пребореал) почти повсеместно в Арктике происходит деградация тундростепных ландшафтов и начинают встречаться древесные породы.

Работа выполнена в рамках проекта Президиума РАН «Роль многолетней мерзлоты и оледенений в формировании экосистем арктической зоны».

Оледенение Сибири и проблема пластовых залежей подземного льда

В.С. Шейнкман

*Институт криосферы Земли ФИЦ ТюмНЦ СО РАН;
Тюменский государственный нефтегазовый университет;
Тюменский государственный университет;*

Большая часть Сибири находится в области холодного континентального климата, и создание ясной картины развития природных льдов на этой территории – актуальная, горячо обсуждаемая научная проблема. Как часть данной проблемы предметом острых споров выступает вопрос о генезисе пластовых залежей подземного льда, большая часть находок которых отмечается на Севере Западной Сибири. Главные дебаты касаются вопроса о правомерности или неправомерности отнесения этих залежей к погребенным льдам древних ледников.

В результате многолетнего исследования автором ледников и подземных льдов на всем протяжении Сибири им собран большой фактический материал, и по его итогам освещаются вопросы взаимоотношения форм подземного и наземного оледенения в регионе, анализируется возможность существования погребенных ледников в области многолетней мерзлоты и оценивается длительность их пребывания в таком состоянии. Поскольку главный вопрос, который разделяет исследователей в данном случае, касается верификации модели первично нивально-гляциального образования пластовых залежей подземного льда, или оставления за ними только варианта их внутригрунтового формирования, крайне важно было поставить во главу угла освещение проблемы с разных точек зрения. Так как именно объединяя их с позиций общей методологии науки криологии Земли и осуществляя междисциплинарный контроль результатов, реально охватить всю многосторонность данной проблемы и найти приемлемое на сегодня решение. Чтобы разобраться в этом споре, автором рассматриваемая проблема анализировалась с позиций взаимодействия мерзлотных и гляциальных процессов.

В принципе, возможность захоронения ледниковых тел может обсуждаться лишь после доказательства существования в прошлом, в соответствующем регионе, самих ледников, а также реальности их погребения за счет формирования надолго экрана из способных предотвратить его таяние пород. Суть проблемы, поэтому, в первую очередь касается разных подходов к развитию ледников, формирующихся в обстановке холодного континентального климата Сибири, и в значительной мере связана с традиционным использованием стереотипов, сформировавшихся во взглядах на оледенение с позиций альпийской научной школы. Разработки этой школы являются, безусловно, базисом для всех гляциологических исследований, но накопленный в Сибири материал обуславливает, чтобы при их применении вносились, ввиду необходимости учета своеобразия обстановок в данном регионе, существенные коррективы.

В итоге проведенной работы автором сделан вывод, что в масштабе геологического времени существование погребенных ледников в Сибири нереально. Спорные пластовые залежи подземного льда на севере Западной Сибири, иногда относимые к остаткам древних ледников, таковыми не являются, и их происхождение связано с формированием льдов внутригрунтового генезиса.

Геокриологические исследования на участке Буранный Томторского месторождения.

*И. Е. Мисайлов, М. Н. Железняк
Институт мерзлотоведения СО РАН*

Изучение особенностей распространения многолетнемерзлых толщ (ММТ) и её параметров является необходимым условием для оценки инженерно-геологических условий при разработке месторождений полезных ископаемых.

Основной целью проводимых исследований является изучение геокриологических условий, в том числе криогенного строения, физико-механических свойств дисперсных пород покровного комплекса, теплофизических свойств основных типов горных пород, а также температурного режима горных пород участка Буранный месторождения Томтор.

Томторское месторождение расположено на северо-востоке Сибирской платформы. Административно относится к Оленекскому улусу Республики Саха (Якутия) и находится в 400 км к югу от побережья моря Лаптевых на слабовсхолмленной равнине с абсолютными отметками от 75 до 259 м и относительными превышениями до 80 м.

Климат района резко-континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким (2-2,5 месяца) летом. Среднегодовая температура воздуха составляет $-14,0^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков колеблется от 200 до 260 мм.

В процессе проведения полевых работ в 2016 г., для характеристики особенностей снегопереноса, была проведена снегомерная съемка. Установлено, что в пределах исследуемого участка Буранный мощность снега изменяется от 45 до 71 см, а его плотность варьирует от 0,176 до 0,281 г/см³.

Многолетнемерзлые толщи (ММТ) развиты в пределах Уджинского поднятия северо- востока Анабарской антеклизы до глубины 750 м, непосредственно в пределах месторождения варьируют от 166 до 414 м (Солопанов, 1996 г.). Преобладающая мощность сезонно- талого слоя (СТС) составляет 0,7- 1,2 м.

В пределах участка Буранный месторождения Томтор для режимной наблюдательной сети оборудованы четыре скважины глубиной 30, 40, 60 и 170 м. После установки в скважинах проведены геотермические замеры.

По результатам температурных измерений, а также фоновых данных (Солопанов, 1996) установлено, что мощность слоя годовых колебаний температуры составляет 10 м, а температура на его подошве изменяется от $-8,4$ до $-6,1^{\circ}\text{C}$.

Определены значения плотности и теплофизические свойства по 14 разновидностям горных пород, которые в целом по разрезу варьируют в следующих пределах: теплопроводность горных пород от 0,71 до 2,31 Вт/(м·К), температуропроводность – от $0,43 \cdot 10^{-6}$ до $1,57 \cdot 10^{-6}$ м²/с и теплоемкость – от 1333 до 2636 кДж/(м³·К), плотность – от 1943 до 3428 кг/м³

Литература:

Солопанов А.Т., Толстов А.В. «Мерзлотно- гидрогеологические условия массива Томтор». Криолитозона и подземные воды Сибири. Часть вторая. Подземные воды и наледы. ИМЗ СО РАН, Якутск, 1996 г.

Новообразование мерзлоты на низких аккумулятивных лайдах Карского моря

А.А. Васильев^{1,2}, И.Д. Стрелецкая³, Г.Е. Облогов^{1,2}

¹*Институт криосферы Земли СО РАН,*

²*Тюменский государственный университет*

³*Московский государственный университет, географический ф-т*

Оценка тенденций и скорости эволюции многолетнемерзлых пород (ММП) в условиях меняющегося климата в последние десятилетия выдвинулась в ряд приоритетных. Активно разрабатываются модели и делаются оценки изменения криолитозоны, включая пространственное распространение, температурный режим и т.п. При этом подавляющее число работ направлено на исследование процессов деградации мерзлоты. В нашей работе акцентируется внимание на том, что одновременно с деградацией криолитозоны в континентальных условиях наблюдаются процессы ее новообразования в современных аккумулятивных отложениях арктических морей даже в цикле потепления климата.

В качестве объектов изучения процессов новообразования многолетнемерзлых пород на низких аккумулятивных лайдах Карского моря были выбраны два участка, принципиально отличающиеся по условиям промерзания морских лайд – Марре-Сале на Западном Ямале и Сопочная Карга на Западном Таймыре. На участке Марре-Сале новообразование мерзлоты наблюдается в современных морских засоленных песчано-глинистых отложениях. Засоленность аккумулятивных отложений соответствует морскому типу засоления. Температура замерзания-оттаивания составляет около $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$. На участке Сопочная Карга новообразование мерзлоты происходит в морских пресных песчаных и песчано-галечниковых отложениях с температурой замерзания – оттаивания около $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Выполнены многолетние непрерывные наблюдения за температурой пород в сезонно-талом слое и верхнем горизонте мерзлоты.

Получены данные о среднегодовой температуре пород на нескольких глубинах за весь период наблюдений. Найдено, что в условиях современных низких морских лайд, независимо от их засоленности, происходит новообразование сравнительно низкотемпературной мерзлоты.

На основании данных о распределении среднегодовой температуры отложений по глубине рассчитаны годовые тренды и величины тепловых потоков в верхних горизонтах. Тепловые потоки могут достигать 10 Вт/м^2 , что в 100-200 раз превышает тепловые потоки в промерзающую толщу снизу. Установлена тесная корреляция величины тепловых потоков с аномалиями температуры воздуха.

Полученные данные позволяют упростить тепловые расчеты и моделирование теплового режима промерзающих отложений.

Исследования выполнены в рамках гранта РНФ, № 16-17-102. Определение свойств многолетнемерзлых пород, в т.ч. засоленности и температуры замерзания –оттаивания, поддержано РФФИ грант 16-05-00612.