ТРУДЫ IV ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ/MGO 2020

имени Л. Н. Карлина

Санкт-Петербург
2020

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1
Т78
Труды IV Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология:
достижения и перспективы развития»/MGO 2020 имени Л. Н. Карлина. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2020. – 459 с.

ISBN 978-5-93808-367-7

В сборнике трудов представлены доклады российских и зарубежных специалистов в области океанологии, взаимодействия океана и атмосферы, климатологии, гидрологии, экологии, управления морской деятельностью и образования в сфере гидрометеорологии. Особое внимание уделено результатам последствий изменения климата и хозяйственной деятельности на речных бассейнах, исследованию приустьевых, шельфовых и открытых районов Мирового океана, качеству вод и экологическому состоянию водных объектов, совершенствованию технических средств и методов прогноза гидрометеорологических процессов для управления водными ресурсами и морской деятельностью. Рассмотрены проблемы наращивания потенциала в области образования в сфере гидрометеорологии.

Для научных работников и инженеров, специализирующихся в области гидрометеорологии и экологии. Сборник полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

УДК 551.5+574

ББК 26.23:20.1

При поддержке и содействии:

- Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга
- Русского географического общества
- Федерального государственного бюджетного учреждения Северо-Западного управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
- Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института озероведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН)
- ООО «Фертоинг»

Организатор: Организатор деловых мероприятий ООО «Инпроэкспо»

Организационный и программный комитет:
Председатель секции «Метеорология» - Щукин Георгий Георгиевич, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского.
Председатель секции «Гидрология» - Георгиевский Владимир Юрьевич, доктор географических наук, ГГИ
Председатель секции «Лимнология» - Науменко Михаил Арсеньевич, доктор географических наук, ИНОЗ РАН
Председатель секции «Океанология» - Малинин Валерий Николаевич, доктор географических наук
Председатель секции «Экология человека в экстремальных условиях» - Трубина Марина Августиновна, кандидат географических наук, Русское географическое общество
Председатель секции «Молодежной сессии» - Шилин Михаил Борисович, доктор географических наук, профессор РГГМУ
Научный экспертный совет конференции:
Малинин Валерий Николаевич, доктор географических наук,
Угрюмов Александр Иванович, доктор географических наук
Члены организационного и программного комитета: Драчкова Л.Н.,(Северный Арктический федеральный университет им. М.В.Ломоносова), Калинин В. Г. (Пермский государственный национальный исследовательский университет), Кислов А. В., (МГУ имени М.В.Ломоносова), Королев И. Ю., (ООО «Фертоинг»), Плинк Н. Л. (РГГМУ), Поздняков Ш. Р. (ИНОЗ РАН), Шилин М. Б. (РГГМУ), Цепелев В. Ю.

ISBN 978-5-93808-367-7

© Коллектив авторов, 2020
© ХИМИЗДАТ, 2020

PROCEEDINGS IV OF RUSSIAN NATIONAL CONFERENCE

HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY: SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS AND PERSPECTIVES MGO 2020

named after L. N. Karlin

Saint-Petersburg
2020

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1
Т78
Proceedings of the IV Russian national conference “Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives” /MGO 2020 named after L. N. Karlin - SPb.: HIMIZDAT, 2020. – 459 p.

ISBN 978-5-93808-367-7

The book contains materials of the reports of the russian and foreign experts in the field of meteorology, oceanology, climatology, hydrology, ecology, marine management and education in the hydrometeorology. Special attention is given to results of basic research and their implementation for solving applied problems including the development of technologies for monitoring the World Ocean in order to investigate and development of its resources, improvement of technical resources and forecasting methods for hydrometeorological processes for the management of water resources and marine activities. There are considered the problems of building up capability in education in hydrometeorology sphere. For the researches and engineers, specialized in hydrometeorology and ecology. This book is useful for students and postgraduates of relevant specialties.

УДК 551.5+574

ББК 26.23:20.1

With the support and assistance of:
Committee for Nature Management, Environmental Protection and Environmental Safety of the Administration of St. Petersburg
The Russian geographical society
Federal State Budgetary Institution of the North-West Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring
Federal State Budgetary Institution of Science, Institute of Lake Studies of the Russian Academy of Sciences (IL RAS)
Ltc " Fertoing"
Organizer: the Organizer of business events Ltc "Impoexpo"

Organizing and Program Committee:
Chairman of the section "Meteorology" -Georgy G. Shchukin, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky.
Chairman of the section "Hydrology" - Vladimir Georgievsky, Doctor of Geographical Sciences, SHI
Chairman of the section "Limnology" - Mikhail Naumenko, Doctor of Geographical Sciences, IL RAS
Chairman of the section "Oceanology" - Malinin Valery Nikolaevich, Doctor of Geographical Sciences
Chairman of the section "Human Ecology in extreme conditions" - Marina Trubina, Candidate of Geographical Sciences, Russian Geographical Society
Chairman of the section of the "Youth Session" - Mikhail Borisovich Shilin, Doctor of Geographical Sciences, Professor of the RSHMU Scientific Expert Council of the conference: Malinin Valery Nikolaevich, Doctor of Geographical Sciences, Ugryumov Alexander Ivanovich, Doctor of Geographical Sciences

Scientific Expert Council of the conference: Malinin Valery Nikolaevich, Doctor of Geographical Sciences, Ugryumov Alexander Ivanovich, Doctor of Geographical Sciences
Members of the organizing and program committee: Drachkova L. N., (Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov), Kalinin V. G. (Perm State National Research University), Kislov A.V., (Lomonosov Moscow State University), Korolev I. Yu., (Fertoing), Plink N. L. (RSHU), Pozdnyakov Sh. R. (IL RAS), Shilin M. B. (RSHU), Tsepelev V. Yu.

ISBN 978-5-93808-367-7

© Collective of authors, 2020
© HIMIZDAT, 2020

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ И ТИПЫ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Аверкиев А.С., д-р. геогр.наук
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

LEVEL FLUCTUATIONS IN THE GULF OF FINLAND AND ATMOSPHER CIRCULATION TYPES

Averkiev A.S., Dr.Sc.
Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

Проведен совместный анализ рядов среднемесячных значений уровня на Кронштадтском водомерном посту и форм циркуляции атмосферы по Вангенгейму-Гирсу за 1900-2018гг. Показано, что средний уровень в Финском заливе за последние 40 лет повысился примерно на 8 см по сравнению с предыдущим 80-летним периодом. Показано, что средние месячные величины уровня в Финском заливе имеют статистически значимую связь с формами циркуляции и повышение среднего уровня залива может быть вызвано сменой преобладающих форм атмосферной циркуляции.

A joint analysis of the series of monthly average values of the level at the Kronstadt water measuring station and the forms of atmospher circulation by the Wangenheim-Geers classification for 1900-2018 was carried out. It is shown that the average level in the Gulf of Finland over the past 40 years has increased by about 8 cm compared to the previous 80-year period. It is shown that the average monthly level values in the Gulf of Finland have a statistically significant relationship with the circulation forms and the increase in the average level of the Gulf can be caused by a change in the prevailing forms of atmospheric circulation.

Анализ временных рядов значений уровня в Восточной части Финского залива (ВЧФЗ) Балтийского моря остается актуальной задачей, несмотря на то, что работа Комплекса защитных сооружений С-Петербурга (КЗС) защищает город от наводнений. Как известно, наиболее длительным и надежным массивом наблюдений за уровнем в восточной части Финского залива является ряд наблюдений на Кронштадтском водомерном посту («в/п») или футштоке [1-6]. Ранее неоднократно отмечалось [1,4, 7-10], что временной ход уровня в Кронштадте не является чисто локальным явлением, а отражает крупномасштабную изменчивость уровня во всем Финском заливе и в значительной степени в Балтийском море. Соответственно причины этой изменчивости надо искать в крупномасштабных явлениях в океане и атмосфере [1,4,7-10]. Надежным и испытанным временем показателем таких процессов являются формы циркуляция атмосферы по классификации Г.Я. Вангенгейма – А.А.Гирса (E, W и C) для Атлантико-Европейского региона Северного полушария [11]. Также неоднократно отмечалось, что для Финского залива, вытянутого вдоль широты на 300-350 км, прохождение циклонов с запада на восток и по близким направлениям вызывает повышение уровня, вплоть до значительных и катастрофических [4,7-10]. Такие ситуации наблюдаются в основном при западной форме циркуляции W. Однако важную роль играют траектории циклонов. Повышение уровня вызывают только те циклоны, которые проходят севернее оси Финского залива [1,4,7, 9]. Если же над Северо-Западным регионом РФ наблюдается антициклоническая деятельность, то при северном относительно оси залива положении центра антициклона в заливе наблюдается понижение уровня. Такая ситуация имеет место в основном при формах циркуляции E. В монографии [11] приведен каталог элементарных синоптических процессов (ЭСП) с конца XIX в до 2018 г. с указанием форм циркуляции для каждого ЭСП. Именно этот каталог позволил произвести совместный анализ ряда значений уровня и рядов форм атмосферной циркуляции. Таким образом, цель настоящей работы – проведение совместного анализа ряда значений уровня на Кронштадтском в/п с формами циркуляции за 1900-2018 гг. для

выяснения причины повышения среднего уровня в Финском заливе за последние 40 лет более, чем на 8 см по сравнению с предыдущим 80-летним периодом.

Анализ среднемесячных данных по уровню в ВЧФЗ. В данной работе основой для выполнения расчетов послужили среднемесячные значения уровня на Кронштадтском водомерном посту с 1900 г. по 2018 г. [2, 3]. При анализе значительных отклонений от нормы среднемесячных величин уровня оказалось принципиально важным учитывать многолетнее изменение уровня (нормы) в Финском заливе и в Балтийском море в целом. В [4] показано, что при анализе среднегодовых величин уровня на Кронштадском посту до 1980 г. среднее многолетнее значение (норма) составляло около минус 1,6 см, а за период 1980-2007 гг. норма стала равна 5 см. В данном случае, при анализе ряда среднемесячных значений уровня (рис. 1), оказалось, что, если рассматривать весь период 1900-2018 гг., то норма равна 2,89 см, среднеквадратическое отклонение (СКО) σ=21,0 см, тогда как для периода 1900-1979 гг. норма равна минус 0,17 см, σ=20,0, а для периода 1980-2018 гг. норма 8,18 см, σ=21,6см. Эти два «квазиоднородных» периода в ходе среднемесячных колебаний морского уровня в Кронштадте отчетливо видны на рис.1. Соответственно и значительные отклонения или аномалии надо отсчитывать от этой «новой» нормы в период 1980-2018 гг.

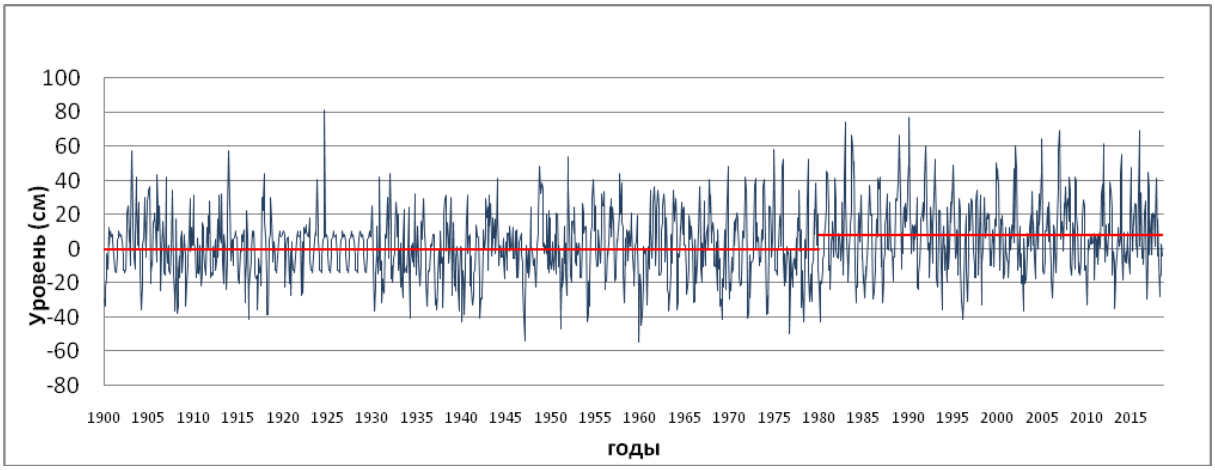


Рис. 1. Временной ряд среднемесячных значений уровня за 1900-2018 гг. Выделены средние значения за периоды 1900-1979 гг. и 1980-2018 гг.

Далее было рассчитано количество аномальных месяцев выше и ниже нормы (ВН и НН - отклонение уровня от среднего значения более, чем на σ) по десятилетиям за весь период наблюдений с 1900 г., как было сделано ранее [1], но с учетом изменившихся в последние десятилетия нормы и среднеквадратического отклонения. Так как для многих лет XX в. имелись длительные периоды отсутствия наблюдений, то более показательным оказался расчет процентного отношения аномальных месячных значений НН и ВН к общему количеству месяцев с наблюдениями в данном десятилетии. Данные расчета представлены на рис. 2.

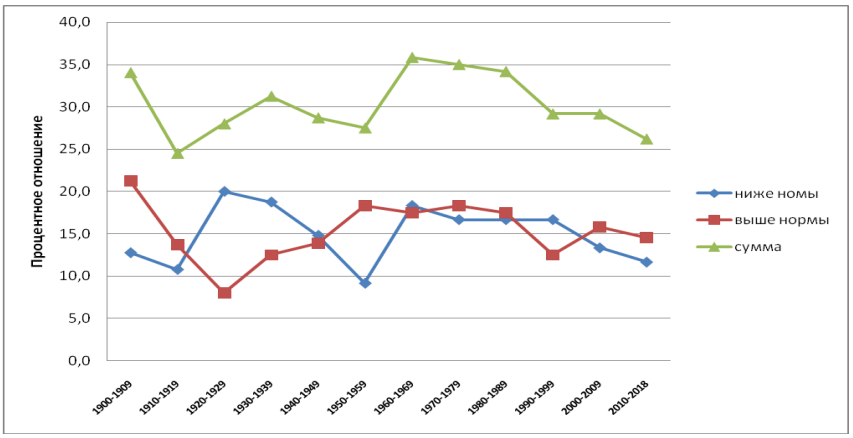


Рис. 2. Процентное отношение числа месяцев с отклонениями ВН и НН к общему количеству месяцев с наблюдениями по десятилетиям

Из данных рисунка видно, что существенных отличий в какую-либо одну сторону в процентном отношении аномальных значений с учетом пересчитанных норм не наблюдается. Помним, что сама «приведенная норма» увеличилась, т.е. средний уровень при месячном осреднении вырос на 8,35 см. Выделяется период с 60-х до 80-х, когда общее количество «аномальных» месяцев (сумма ВН и НН) на 6-8% превышало их количество в другие десятилетия.

Взаимосвязь колебаний уровня с формами атмосферной циркуляции. Следуя [11], рассмотрим особенности изменчивости форм циркуляции. Повторяемость западной (W) формы циркуляции с начала наблюдений (1891 г.) до начала 30-х гг. XX в (более 40 лет) и с начала 90-х гг. по 2018 г. (28 лет) характеризовалась положительными аномалиями относительно среднего значения за весь период, а с середины 30-х гг. до начала 90-х гг. (60 лет) отрицательными аномалиями. В повторяемости меридиональной (С) формы атмосферной циркуляции выраженные циклы и тренды не наблюдались. Повторяемость восточной (Е) формы циркуляции имеет почти обратный временной ход по сравнению с повторяемостью западной формы циркуляции. Так, с конца XIX в. до середины 20-х гг. форма Е имела отрицательные аномалии в повторяемости, а с конца 20-хх гг. до середины 90-х (около 70 лет) положительные аномалии относительно нормы. Последние два десятилетия повторяемость этой формы циркуляции была около и ниже нормы. Эти многолетние циклы несомненно должны оказать влияние на многие процессы в Атлантико-Европейским регионе и, в частности, на колебания уровня в Балтийском море.

В результате расчета коэффициентов корреляции (r) рядов уровня и рядов форм циркуляции были получены ожидаемые результаты. При западной форме W морской уровень повышается (r=0,52), так как происходит усиление западно-восточного переноса воздушных масс. Естественно, с временным ходом формы Е отмечается обратная связь (r=-0,42). Интересным оказалось сравнение количества месяцев со значительными отклонениями от приведенных норм и ряда количества дней с определенной формой циркуляции в каждый месяц. Оказалось, что из 204 месяцев с аномалией уровня ниже нормы (НН) в 168 месяцах преобладала восточная форма (Е), а из 207 месяцев с аномалией уровня выше нормы (ВН) в 149 месяцах преобладала западная форма циркуляции (W). Таким образом, подтверждается очевидный вывод – при активной циклонической деятельности (западная форма) преобладают западные «нагонные» ветры над акваторией Финского залива и высокие уровни воды. Менее очевидный вывод - при восточной форме, когда над европейской частью РФ наблюдается антициклон или гребень высокого давления, видимо преобладают

восточные или северо-восточные ветры и сгонные явления в Невской губе и Финском заливе, приводящие к пониженным значениям уровня.

Как было указано выше, а также в работах других авторов [4, 10] существенное повышение среднего уровня наблюдается с начала 80-х гг. Тогда следует ожидать, что произошло изменение преобладающей формы циркуляции атмосферы в этот период, которое вызвало увеличение повторяемости воздушных потоков западного направления.

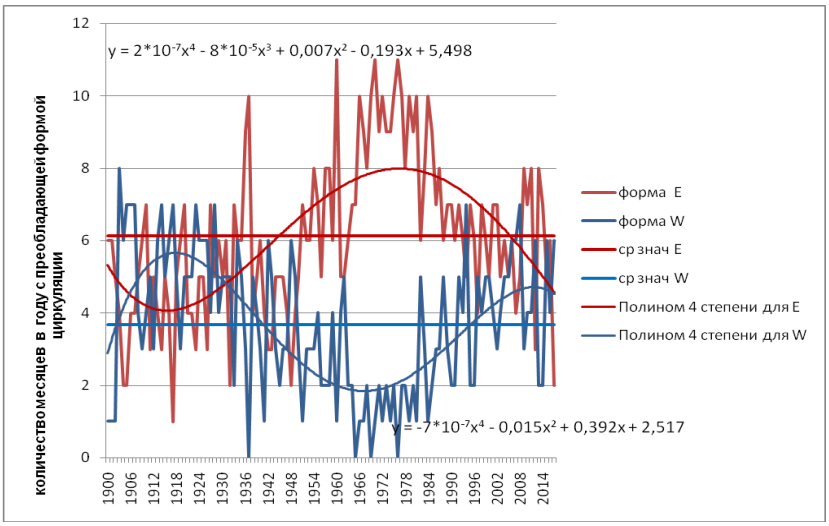


Рис 3. График изменения количества месяцев в году с преобладающими формами циркуляции E и W. Приведены средние значения повторяемости формы циркуляции и кривые, аппроксимирующие временной ход форм циркуляции полиномами 4-й степени.

График изменения количества месяцев в году с преобладающими формами циркуляции E и W за 1900-2018 гг. по [11] приведены на рис. 3. Там же приведены их средние значения и аппроксимирующие кривые временного хода обеих форм полиномами 4-й степени. Во временном ходе этих форм циркуляции на рис. 3 четко видно, что в 60-70-е годы обе формы W и E имели близкие к экстремумам значения параметра. В этот период и аномальные колебания уровня имели наибольшую повторяемость (см. рис. 2). С начала 80-х преобладание восточной формы монотонно снижается, а количество месяцев с западной формой устойчиво растет. Причем, как отмечено в [11], с начала 90-х гг. повторяемость формы W превышает её среднее значение, а повторяемость формы E становится ниже средней повторяемости, т.е. формы циркуляции кардинально изменились по сравнению со второй половиной XX в. Эти особенности наиболее отчетливо видны по аппроксимирующим кривым изменения параметра. В соответствии с ростом повторяемости западной формы циркуляции и снижением повторяемости восточной формы растет повторяемость подъемов уровня и средние месячные значения уровня в Финском заливе. В результате это и привело к повышению среднегодового уровня в настоящее время по сравнению с периодом до 1980 г. на 6 см по [4] и на 8,3 см при месячном осреднении данных в наших расчетах.

Выводы. Колебания уровня Финского залива в масштабах месяцев и сезонов являются в значительной степени отражением атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском регионе Северного полушария. Совместный анализ ряда наблюдений за уровнем на Кронштадтском футштоке с формами циркуляции за 1900-2018 гг. [11] позволил сделать вывод о том, что изменение среднего уровня в Финском заливе за последние 40 лет более, чем на 8 см по сравнению с предыдущим 80-летним периодом

соответствует изменению форм циркуляции атмосферы.После длительного периода преобладания восточной формы E в 40-70-е гг. с начала 80-х гг. наблюдается устойчивый рост повторяемости западной формы W. Это приводит к усилению циклонической деятельности над Балтийским регионом, увеличению повторяемости воздушных потоков западного направления и к повышению уровня в Финском заливе.

Литература.

1. Аверкиев А.С. Оценка влияния циклонической активности на колебания уровня воды в Невской губе // Ученые записки РГГМУ. 2011, № 18. С. 100-111
2. Bogdanov, V.I., Medvedev, M.Yu., Solodov, V.A., Trapeznikov, Yu., A., Troshkov, G.A. and Trubitsina, A.A. 2000. Mean monthly series of sea level observations (1777-1993) at the Kronstadt gauge. // Reports of the Finnish Geodetic Institute. 2000:1. 34pp
3. Богданов В. И. Кронштадтский футшток и его Шепелевский дублер. - С-Пб Научный центр РАН, 2015. 248 с.
4. Гордеева С.М., Малинин В.Н. Изменчивость морского уровня Финского залива. – СПб.: РГГМУ, 2014. 179с.
5. Малинин В.Н., Гордеева С.М., Митина Ю.В., Павловский А.А.. Негативные последствия штормовых нагонов и «векового» роста уровня в Невской губе //Вода и экология: проблемы и решения. 2018. № 1 (73). С.48-58.
6. Аверкиев А.С. Особенности штормовых нагонов в Финском заливе, формируемых экстремальными циклонами, во время работы Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений// Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014, т.7, № 4. С. 29-39
7. Averkiev A.S., Klevannyy K.A. A case study of the impact of cyclonic trajectories on sea-level extremes in the Gulf of Finland //Continental Shelf Research. 2010. Т. 30. № 6. PP. 707-714.
8. Аверкиев А.С., Клеванный К.А. Расчет экстремальных уровней воды в восточной части Финского залива// Метеорология и гидрология. 2009. № 11. С. 59-68.
9. Псаломщикова Л.М., Мироничева Н.П., Бессан Г.Н., Швецова Н.Р. Характеристики значительных наводнений в устье р. Невы при разных синоптических ситуациях// Метеоспектр. Изд. Росгидромета. 2010, № 2. С. 105-110
10. Захарчук Е.А., Сухачев В.Н., Тихонова Н.А. Механизмы опасных подъёмов уровня моря в Финском заливе. СПб. Изд. «Петербург-XXI век». 2017. 152с.
11. Дмитриев А.А., Дубравин В.Ф., Белязо В.А. Атмосферные процессы Северного полушария (1891–2018 гг.), их классификация и использование. СПб. Издательство СУПЕР. 2018. 306 с.

АНАЛИЗ РИСКОВ ОТ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ И ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Алексеева Е.А., Федорова И.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

ANALYSIS OF RISKS AND DAMAGES FROM DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS FOR THE REPUBLIC OF BURYATIA AND THE IRKUTSK REGION

Alexeeva E.A., Fedorova I.V.
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State University"

Летом 2019 года произошло катастрофическое наводнение в г. Тулун Иркутской области. Встала задача актуализации методов оценки опасных гидрометеорологических процессов в связи с отмечаемыми в последнее время климатическими флуктуациями. В работе проанализированы риски от опасных гидрометеорологических явлений для республики Бурятия и Иркутской области на основании имеющейся архивной информации о масштабах произошедших наводнений и анализа многолетних рядов наблюдений на гидрологических постах и метеорологических станциях, расположенных в бассейнах рассмотренных рек за период с 1934 по 1997 гг..
Полученные результаты исследования показали, что Байкальский регион имеет достаточно высокий риск опасных гидрометеорологических явлений, наиболее частыми их которых являются катастрофические паводки, половодья, заторы и зажоры на реках Баргузин, Селенга, Иркут, Ия.

In the summer of 2019, there was a catastrophic flood in the city of Tulun, Irkutsk region. The task was to update methods for assessing dangerous hydrometeorological processes in connection with the recent climate fluctuations. This paper analyzes the risks of dangerous hydrometeorological phenomena for the Republic of Buryatia and the Irkutsk region on the basis of available archival information on the scale of the recent floods and analysis of long-term series of observations at hydrological posts and meteorological stations located in the basins of the rivers examined over the period from 1934 to 1997.. The obtained results showed that the Baikal region has a fairly high risk of dangerous hydrometeorological phenomena, the most frequent of which are catastrophic floods, floods, ice jams and ice dams on the rivers Barguzin, Selenga, Irkut, Ia.

Введение. Байкальский регион, несмотря на особый интерес экологов к охране самого озера, остается до сих пор без специального внимания со стороны гидрологов и экономистов в связи с проблемой опасных гидрометеорологических явлений, в особенности наводнений и разрушительных последствий от них в регионе. Для региона с его особыми физико-географическими условиями нет точных методов оценки рисков опасных гидрометеорологических явлений, которые происходят на водосборе ежегодно и наносят огромный ущерб как человеку, так и окружающей его природной среде. Использование оценки риска в России зачастую находит недостаточное теоретическое развитие и практическое применение до сих пор. Новизна данной работы состоит в исследовании и анализе рисков от опасных гидрометеорологических явлений для республики Бурятия и Иркутской области.

Опасное природное явление в широком смысле - это гидрометеорологическое или геофизическое явление, которое по интенсивности развития, продолжительности или моменту возникновения может представлять угрозу жизни или здоровью граждан, а также может наносить значительный материальный ущерб [1].

Для республики Бурятия и Иркутской области существуют перечни и критерии опасных гидрометеорологических явлений с учетом природно-климатических и хозяйственно-экономических условий данных регионов.

Среди метеорологических опасных явлений, оказывающих наибольшее влияние на возникновение наводнений на территории республики Бурятия и Иркутской области, можно выделить сильный ливень, очень сильный дождь, который подразделяется на очень сильный дождь со снегом, мокрый снег, а также очень сильный снег с дождем и продолжительный сильный дождь. К гидрологическим опасным явлениям, в свою очередь, относятся паводки, заторы, низкие межени, раннее ледообразование, сели, половодья, зажоры [2].

Оба рассмотренных региона почти ежегодно подвергаются риску опасных гидрометеорологических явлений, наиболее частыми и наносящими значительный ущерб из которых являются паводки, вызванные ливневыми продолжительными дождями, половодья, сели, заторы и зажоры. Все перечисленные опасные явления могут стать причиной такого катастрофического события как наводнение. Последнее катастрофическое наводнение в регионе (в Тулуне) произошло летом 2019 г.

Материалы и методы. В работе были использованы данные среднемесячной температуры воздуха и среднемесячного количества атмосферных осадков на станциях г. Иркутск, г. Тулун, Иволгинск и Кяхты, взятые с сайта ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - мировой центр данных».

Ряды данных среднемесячной температуры воздуха содержат информацию с начала наблюдений на станциях, а ряды данных среднемесячного количества атмосферных осадков содержат информацию с 1966 года. Данные по расходам воды были взяты с сайта R-ArcticNET - Региональной электронной гидрографической сети для Арктического региона, которой, в свою очередь, архив данных по речному стоку в России был предоставлен Санкт-Петербургским Государственным гидрологическим институтом.

Одним из ключевых оцениваемых параметров в работе стал расход воды. Данную характеристику применяют при изучении водного режима реки - в зависимости от сезона и фазы водного режима (половодье, паводок, межень), величина расхода воды в реке меняется в широких пределах. Среднегодовые и среднемесячные расходы воды, используемые в работе, были найдены путем осреднения данных ежедневных расходов.

Количество атмосферных осадков - слой воды (в миллиметрах), который образовался бы на поверхности, если бы выпавшие осадки не стекали, не испарялись и не просачивались вглубь. Полученные данные атмосферных осадков получены путем измерения осадкомером Третьякова.

В работе были использованы средняя месячная температура воздуха, рассчитываемая путем нахождения среднего арифметического из средних суточных температур за все сутки месяца или среднего арифметического из средних декадных температур и средняя годовая температура, определяемая с помощью нахождения среднего арифметического из средних суточных или средних месячных температур за весь год.

Многолетние ряды метеоданных и данных расходов воды рек были проанализированы и обработаны с помощью методов первичной статистической обработки данных. По каждому ряду была посчитана амплитуда значений, коэффициенты вариации и асимметрии, дисперсия и среднеквадратическое отклонение (стандартное отклонение). Между всеми параметрами - температурой воздуха и атмосферными осадками, расходом воды и атмосферными осадками,

температурой воздуха и расходом воды - посчитаны коэффициенты корреляции и составлена корреляционная матрица [3].

Результаты. ***Внутригодовое и межгодовое изменение расхода воды.*** Многолетние изменения стока и атмосферных осадков показывают наличие как маловодных и многоводных лет, с минимальным и максимальным стоком, соответственно. Расход воды на реках Иркутской области и республики Бурятия зависит от количества выпадающих атмосферных осадков и температуры воздуха, в летнее время, с наступлением теплого периода вслед за повышением температуры воздуха отмечается увеличение расхода воды, причем с некоторым запаздыванием по отношению к увеличению температуры воздуха.

На графиках среднемесячного расхода воды рек Иркутской области и республики Бурятия в многоводные и маловодные годы наибольшие расходы воды наблюдаются с начала второй половины лета до начала осени (июль-сентябрь) (рис.1). Это связано с климатом Байкальского региона - теплым и дождливым летом, с максимумом осадков в летний период с захватом начала осени. Самую большую амплитуду между максимальным и минимальным расходами, отмеченными за имеющийся период наблюдений, имеет река Селенга - от 1500 до 4100 $м^3$/с. Это связано с тем, что Селенга имеет характер горной реки, большую длину и начинает формировать до половины своего стока за пределами республики Бурятия, в горах Монголии. С приходом теплого и дождливого сезона расход воды в реке увеличивается, что нередко приводит к таким опасным гидрометеорологическим явлениям, как катастрофические паводки и половодья, которые вызывают наводнения.

На графиках многолетнего изменения стока в их сравнении с нормой на реках Ия и Иркут были отмечены максимальные и экстремальные значения расходов воды и осадков. На реке Ия - в 1987, 1980, 1966 годах, а на реке Иркут - в 1971, 1987, 1990 годах. На реках республики Бурятия - р. Баргузин и р. Селенга - максимальные и экстремальные значения наблюдались в другие годы. Так, река Селенга широко разлилась в 1971, 1985, 1990 и 1993 годах, а река Баргузин - в 1985, 1988 в 1967 годах. Стоит отметить, что 1973 год стал многоводным для обоих регионов и всех рассмотренных рек.

Катастрофические паводки, ставшие причиной наводнений в республике Бурятия и Иркутской области, наблюдались в разные годы. Причиной этого являются различные физико-географические условия регионов. Так, река Иркут в Иркутской области протекает на юге региона, в Прибайкалье. Летом здесь выпадает очень большое количество осадков в связи с тем, что летом преобладает западное направление ветра, а сами ветра в Прибайкалье и Присаянье дуют с большой силой. В этот период они приносят осадки, которые вызывают паводки. Дополнительный источник - талые воды снежников и ледников Тункинских Гольцов. На Иркуте также наводнения могут быть вызваны половодьями, заторами и зажорами. Станция Тулун находится в пойме реки Ия, которая ежегодно затопляется, а также здесь очень часто происходят наводнения.

В республике Бурятия часть наводнений произошла в другие годы, поскольку здесь наблюдаются другие физико-географические условия. Осадков на протяжении года выпадает сравнительно немного, а их большая часть приходится на летние месяцы - июль-август. Однако, помимо осадков, максимальные расходы воды здесь могут быть вызваны заторами во время половодий. Это подтверждается тем, что в 1985 году на реке Баргузин максимальный расход воды 473 $м^3$/с был отмечен в июне, в то время как максимальное количество осадков выпало только в августе.

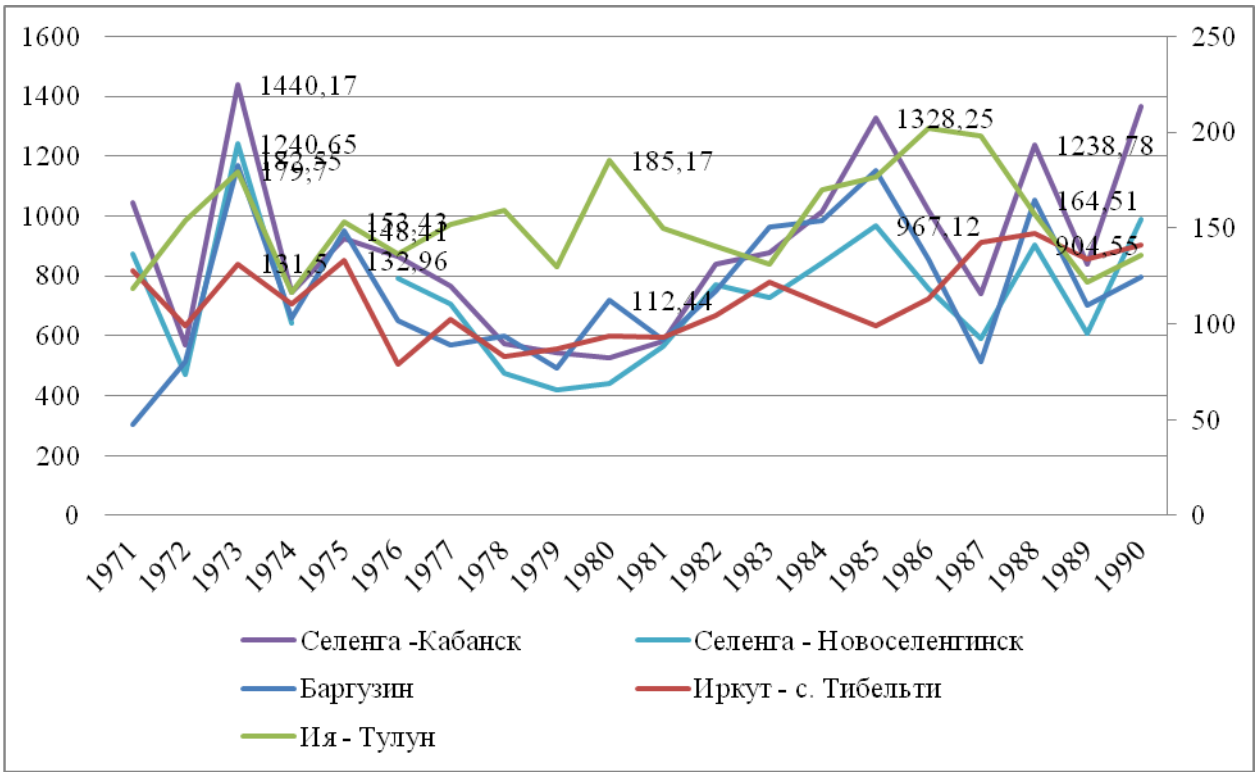


Рис. 1. Совмещенный график многолетнего распределения стока для рек Байкальского региона
за 1971-1990 гг.

Оценка рисков. В результате работы был проведен анализ рисков опасных гидрометеорологических явлений в Байкальском регионе на основе построенных кривых обеспеченностей - кривых вероятности превышения нормы расходов воды на реках Иркутской области и республики Бурятия. Риск - это возможность возникновения неблагоприятного исхода в условиях неопределенности [4]. Так, Байкальский регион имеет достаточно высокий риск опасных гидрометеорологических явлений, наиболее частыми их которых обнаружены паводки, половодья, заторы и зажоры. С точки зрения гидрометеорологии риск опасных гидрометеорологических явлений на реках Баргузин, Селенга, Ия и Иркут обеспечивается в 1,7% до 5,7% случаев. Стоит подчеркнуть, что наводнения в Иркутской области и республике Бурятия имеют риски опасных гидрометеорологических явлений в равной степени как для гидрометеорологической ситуации и характеризуется площадью затопления, подъемом уровня воды; для природной среды и состояния экосистем - разрушением почвенного верхнего плодородного слоя, гибелью живых организмов, загрязнением ландшафтов, нарушением устойчивости экосистем; так и для экономики, социальной сферы и здоровья человека - разрушение зданий и других значимых построек, травмы и гибель людей, величина материального ущерба.

Заключение. Для республики Бурятия и Иркутской области 1973 год стал катастрофическим по величине и масштабу произошедшего наводнения, вызванного дождевым паводком. Однако, из-за различия в физико-географических условиях этих территорий, для каждого региона наводнения происходят в разные годы. На основе построенных кривых обеспеченностей было выявлено, что Байкальский регион имеет достаточно высокий риск опасных гидрометеорологических явлений, наиболее частыми их которых обнаружены паводки, половодья, заторы и зажоры. Наводнения

отмечаются при катастрофических обеспеченностях: 1,7%-ной на р. Ия, 3,03%-ной и 3,7%-ной на р. Селенге, 3,2%-ной - на р. Баргузин, и 5,7%-ной - на р. Иркут.

Данная работа предусматривает дальнейшую перспективу в виде рассмотрения других рек Байкальского региона в целом, а также анализ опасных гидрометеорологических явлений за последние годы и его сравнения с рассмотренным фоновым периодом. Так, имея данные за прошлый и современный периоды наблюдений будет проведена оценка рисков и ущербов.

Литература

[1]. Сайт Бурятского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс] URL: http://www.burpogoda.ru/.

[2]. ФГБУ "Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды". [Электронный ресурс] URL: https://www.irmeteo.ru/. (дата обращения 15.04.2020).

[3]. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». - СПб.: изд. РГГМУ. 2007. - 279 с.

[4]. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. - СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2011. - 448 с.

[5]. Авакян А. Б., Полюшкин А. А. Наводнения: проблемы определения ущербов и защиты // Водные ресурсы. — 1991. — № 4. — С. 114–125.

[6]. Разумов В. В., Разумова Н. В., Пчёлкин В. И. Масштабы и опасность наводнений в Сибирском регионе России // Наука. Инновации. Технологии. Науки о Земле. — 2015. — № 4. — С. 103–144.

[7]. Борисова Т. А. Природно-антропогенные риски в бассейне озера Байкал. — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2013. — 126 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОЙ ФОТОВИДЕОСЪЕМКИ В 2018-20 ГОДАХ

Анохин В.М., Дудакова Д.С., Дудаков М.О.
ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН; СПбНЦ РАН; РГПУ им. Герцена. Санкт-Петербург, РФ

RESULTS OF STUDY OF THE LADOGA LAKE BOTTOM LANDSCAPES WITH THE USE OF UNDERWATER PHOTOVIDEOGRAPHY IN 2018-20

Anokhin V.M., Dudakova D.S., Dudakov M.O.
INOZ RAS - SPb FRC RAS; SPbSC RAS; Herzen RGPU, Russia

В ИНОЗ РАН создана серия аппаратов для подводной фотовидеосъемки, адаптированных к условиям Ладожского озера. В течение 2018-20 гг. с их помощью получены новые данные о донных ландшафтах озера.

In the Limnology Institute RAS was created a series of devices for underwater photo-video recording, adapted to the conditions of Lake Ladoga. During 2018-20. with their help, new data on the bottom landscapes of the lake were obtained.

Несколько последних лет в Институте озероведения РАН идет конструирование, доводка, испытания аппаратуры подводной фотовидеосъемки. Создана серия из 3-х аппаратов, названных “Limnoscout” - “Limnoscout-230”, “Limnoscout-50”, “Limnoscout-M”, рассчитанных на разные глубины и условия подводной съемки (рис. 1). Эти аппараты изначально ориентировались для работы в условиях Ладожского озера, в их конструкцию заложен ряд следующих необходимых свойств:

Рис. 1. Общий вид аппарата “Limnoscout-230” (слева) и “Limnoscout-50” (справа)

- высококачественная оптика в комплексе с изменяемой системой освещения позволяет получать четкие изображения даже при высокой мутности воды;
- прочная рама допускает многочисленные столкновения аппаратов с твердыми обломками и обнажениями коренных пород без поломок;
- компактность и малый вес аппаратов определяет их высокую мобильность и возможность применения как с легких плавсредств, так и с судна;
- включение в конструкцию пропеллерных движителей, что дает возможность применения не только в буксируемом, но и в автономном режиме
- высокая ремонтопригодность.

Максимальная испытанная глубина работы аппарата “Limnoscout-230” – 150 м, его предельная расчётная глубина погружения – 700 м. Эти параметры дают возможность применения данной аппаратуры не только в Ладожском озере, но и на других, более глубоких водоемах.

Донная ландшафтная съемка проводилась в основном буксировкой подводного аппарата с лодки, или судна; параллельно с подводной съемкой производился эхолотный промер с помощью эхолота Lawrence, а также спутниковая привязка. На некоторых полигонах проводился донный пробоотбор дночерпателем с целью выявления состава донных отложений.

Рабочие профили объединялись в полигоны по три профиля: один – перпендикулярно к берегу, 1 км, второй – параллельно берегу, 0,3 км, третий – обратным ходом перпендикулярно берегу, 1 км. В отдельных случаях применялись и другие конфигурации профилей.

Предыдущие попытки изучения дна Ладожского озера с помощью подводных аппаратов оказались малоэффективными [1].

За период 2018-2020 гг. в прибрежных районах Ладожского озера отработаны 38 полигонов с легких плавсредств (рис. 2), проведена подводная точечная и профильная фотовидеосъемка с борта НИС «Посейдон» и «Эколог» - 7 профилей длиной до 1 км и 51 станция в северной, центральной и восточной частях озера.

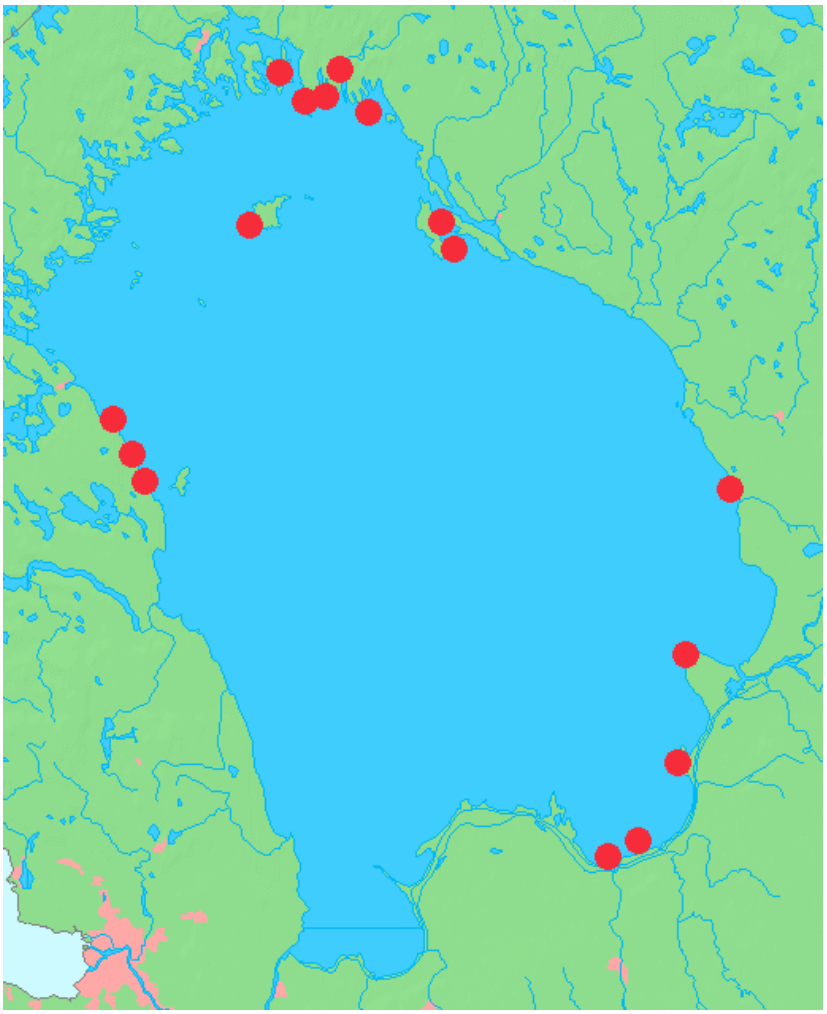


Рис. 2. Схема береговых донных фотовидеосъемок 2018-20 гг. на Ладожском озере. Красные кружки – положение районов работ

В результате проведенных работ получен весьма обширный объем фото- и видеоматериалов, исчисляющийся многими часами видеороликов, сотнями и тысячами фотографий. Анализ этих материалов позволил выявить ряд новых фактов строения дна Ладожского озера, в частности, особенности состояния донных ландшафтов и распространения донных образований, а также новые данные о биологическом составе донных сообществ.

В литолого-морфологическом плане проведенные исследования дна в целом подтвердили существование в Ладожском озере обычной для крупных водоемов с коренными берегами смены типов донных отложений с увеличением глубины, соответствующей ряду коренные – крупнообломочные – песчаные – алевритовые – пелитовые отложения (рис. 3). Однако, установлены и существенные отклонения от этой закономерности: например, между островами Мантсинсаари и Лункулансаари (северо-восточная часть озера) обнаружены крупнообломочные отложения, залегающие на аномально большой глубине в 10-12 м, что, по-видимому, свидетельствует об интенсивной ледниковой деятельности.

А

Б

В

Г

Д

Е

Рис. 3. Фотографии дна Ладожского озера: А - дно, сложенное коренными породами глубина 3 м; Б – дно, сложенное крупнообломочными отложениями (отчетливо видны раковины впервые обнаруженного в Ладожском озере в 2019 г. моллюска Dreissena Polymorpha), глубина 4 м; В – мелковалунно-галечные отложения, глубина 6 м; Г - дно, сложенное крупным песком, глубина 10 м; Д – дно, сложенное алевритовыми отложениями (фонтанчик песка в центре – «выхлоп» зарывшегося в ил ракообразного, светлый вертикальный объект – моллюск мезида, глубина 20 м; Е - дно, сложенное скорее всего алевропелитовыми отложениями, с рыбой в кадре, глубина 30 м

В шхерном районе в северной части озера (между островами Райпатсаари и Лусикайнлуото) подводной съемкой обнаружены выходы коренных пород, которые по виду и условиям залегания могут быть предварительно отнесены к песчаникам рифейского возраста [2] (рис. 4). Если дальнейшее опробование подтвердит этот возраст и состав обнаруженных пород, это станет важной особенностью геологического строения Ладоги.

Рис. 4. Выходы слоистых коренных пород, предположительно рифейских песчаников

В процессе работ 2020 г. на дне Ладожского озера в ряде районов видеосъемкой были обнаружены субвертикальные уступы высотой до 100 м. Все они приурочены к предполагаемым зонам разломов. Данный факт может говорить о более молодом, чем считалось ранее, возрасте последней активности этих разломов.
Проведенные в 2018-19 гг. донные съемки можно считать первым успешным опытом применения подводных аппаратов для фотовидеосъемки донных ландшафтов Ладожского озера. При продолжении данных исследований планируется расширить сеть видеопрофилирования, выделить типы ландшафтов разных частей Ладожского озера с возможным выделением зон антропогенно измененных ландшафтов,

продолжить крупномасштабное картирование донных отложений на различных участках.

Литература

1. Геоэкология Ладожского озера / В.Л. Иванов, В.И. Гуревич. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1995. 209 с.

2. Dudakova D., Anokhin V., Dudakov M., Judin S. Mapping Rocky Coastal Landscapes in Northern Lake Ladoga around the islands of Raipatsaari and Lussikainluoto // GEOHAB 2019 Marine geological and biological habitat mapping. Saint-Petersburg Russia. May 13-17. 2019. P.51-52.

СКРЫТАЯ ГАРМОНИКА С ПЕРИОДОМ 11 ЛЕТ В КОЛЕБАНИЯХ МЕСТНОГО СТОКА ОБЛАСТЕЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Бабкин А.В. [1], Бабкин В.И [1]., Мадибеков А.С., [2] Мусакулкызы А. [2], Чередниченко А.В. [3]
[1]Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия
[2]Институт географии Министерства образования и науки, Алматы, Казахстан
[3]НИИ проблем биологии и биотехнологий КазНУ им “Аль-Фараби”, Алматы, Казахстан

HIDDEN HARMONICS WITH THE PERIOD OF 11 YEARS IN THE VARIATIONS OF LOCAL RUNOFF OF KAZAKHSTAN REPUBLIC

Babkin A.V. [1], Babkin V.I. [1], Madibekov A.S. [2], Mussakulkyzy A. [2], Cherednichenko A.V. [3]
[1] State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia
[2] Institute of Geography, Almaty, Kazakhstan
[3] SRI problems of biology and biotechnology of the al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

Анализ временных рядов местного стока областей Республики Казахстан указывает на присутствие у значительной их части гармоники с периодом 11 лет. Поверочные прогнозы по этой синусоиде в целом, для всех областей, где она была выявлена, оказались лучше, чем по среднему значению соответствующих рядов. Для большинства областей 11 летняя гармоника их стока по фазе близка к синусоиде того же периода, выявляемой в динамике солнечной активности. Поскольку в настоящее время эта гармоника солнечной активности близка к своему минимуму, в последующие несколько лет она может способствовать повышению стока.

The analysis of time series of a local runoff of the administrative regions of the Republic of Kazakhstan indicates the presence among their considerable part the harmonics with the period of 11 years. The training forecasts computed by this sinusoid in general, for all oblasts where it was revealed, were better, than by the mean value of the corresponding time series. For the majority of oblasts the 11 year harmonics of their runoff close by the phase to the sinusoid of the same period revealed in dynamics of solar activity. As now this harmonica of solar activity is near to the minimum, in the next several years it can promote the increase in the runoff.

Республика Казахстан (РК), площадью 2 724 902 км^2, расположена в зоне недостаточного увлажнения. Часть ее территории, относящаяся к бассейну Северного Ледовитого океана, принадлежит к области внешнего стока. Остальная территория республики, в том числе и те ее районы, сток с которых осуществляется в крупные замкнутые водоемы – Каспийское море, Аральское море, озеро Балхаш и др., является областью внутреннего стока.

Сток Казахстана и его отдельных областей испытывает существенные колебания во времени. Исследование их закономерностей с целью разработки методов его долгосрочного прогнозирования весьма актуально для развития различных отраслей современного производства, связанных с использованием водных ресурсов [1, 2].

На 1991 год РК подразделялась на 19 областей: Акмолинскую, Актюбинскую, Алматинскую, Восточно-Казахстанскую, Гурьевскую, Джамбульскую, Джезказганскую, Карагандинскую, Кзыл-Ординскую, Кокчетавскую, Кустанайскую, Мангыстаускую, Павлодарскую, Северо-Казахстанскую, Семипалатинскую, Талды-Курганскую, Тургайскую, Уральскую и Чимкентскую. В Информационно-аналитическом центре Государственного водного кадастра (ИАЦ ГВК) ФГБУ

Государственный гидрологический институт (ГГИ) обрабатываются и хранятся непрерывные погодичные ряды их местного стока.

Местный сток – объем вод, формирующийся на соответствующей территории. В Гурьевской и Мангыстауской областях он сток настолько мал, что полагается равным нулю. Нет достоверных данных и по стоку Тургайской области.

Первые значения рядов стока остальных областей приходятся на годы в интервале с 1930 по 1936 гг.

Указанные ряды проанализированы методом “Периодичностей” [3] с их начала по 2014 г. Оценивалось общее количество установленных периодов той же длины в колебаниях местного стока областей РК. Одни периоды оказались выявленными в большем числе случаев, чем остальные. Чаще других обнаруживались периоды, длиной соответственно 6, 8, 15, 4 года и 11 лет.

По гармоникам с указанными периодами проводились расчеты поверочных прогнозов на 2015 – 2019 гг. Их результаты проверялись на новом независимом материале. Результаты прогнозирования оценивались по количеству оправдавшихся прогнозов и относительной ошибке прогнозирования.

Долгосрочный прогноз стока считается оправдавшимся, если его ошибка – разность рассчитанного и фактического его значений меньше 0.674 от среднего квадратического отклонения анализируемого ряда σ [4]. Относительная ошибка равна отношению средней квадратической ошибки прогнозирования на интервале к σ [5].

Результаты прогнозов по каждой из синусоид, чьи периоды были выявлены чаще других, обобщались по всем областям и сравнивались с теми, что получены по средним значениям соответствующих рядов. По синусоидам с перечисленными периодами результаты прогнозов местного стока оказались хуже, чем по средним значениям соответствующих рядов. Только при расчетах по 11 летней гармонике прогнозы получились лучше, чем по среднему стоку.

Колебания стока с этим периодом могут иметь физическое обоснование, поскольку его длина совпадает с периодом колебаний солнечной активности.

Динамика солнечной активности представлены на рисунке 1. На график нанесена выявленная методом “Периодичностей” гармоника с периодом 11 лет. Ее корреляция с рядом солнечной активности составила 0.596.

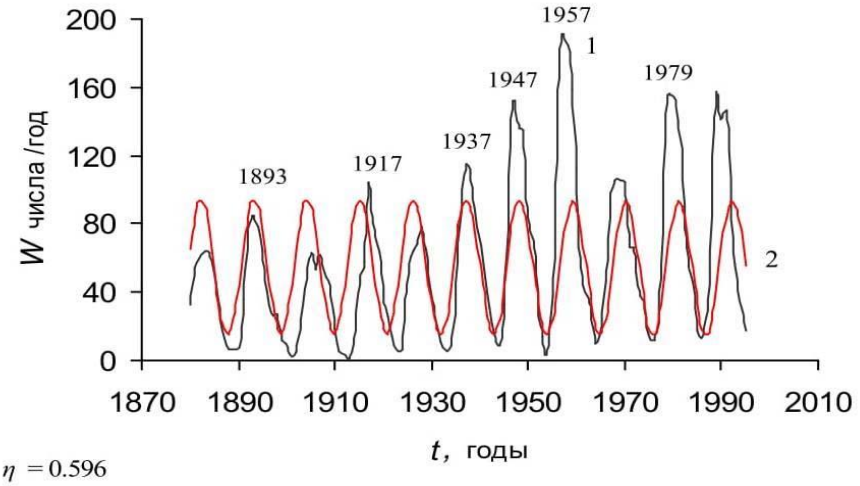


Рис. 1. Колебания солнечной активности: 1 – данные наблюдений, 2 – аппроксимирующая синусоида с периодом 11 лет

График солнечной активности характеризуется пиковыми значениями. Они достаточно часто повторялись через 10 лет. На 1937 г. приходятся соответственно максимумы солнечной активности и аппроксимирующей ее ряд синусоиды с периодом 11 лет. Минимум этой гармоники был в 1943 г., а ряда солнечной активности – в 1944 г.

На рисунке 2 нанесен соответственно местный сток расположенных в различных районах областей Казахстана и выявленная синусоида с периодом 11 лет. Кустанайская и Кокчетавская области находятся на севере центральной части РК. Кызылординская область расположена на юге, а Восточно-Казахстанская – на востоке республики.

Корреляция 11 летней синусоиды и местного стока Кустанайской, Кокчетавской, Кызылординской и Восточно-Казахстанской областей составила соответственно 0.200, 0.229, 0.160 и 0.247. В направлении на восток корреляция местного стока и синусоиды с периодом 11 лет несколько увеличивается. Самая маленькая корреляция оказалась в области, расположенной на юге.

Несмотря на сравнительно небольшую корреляцию с фактическими данными 11 летняя гармоника отражает особенности колебаний местного стока указанных областей. У Кустанайской области эта синусоида описывает повышенные значения местного стока у его максимумов 1947 и 1971 гг. и низкие у минимумов соответственно 1975 – 1977 и 2009 гг.

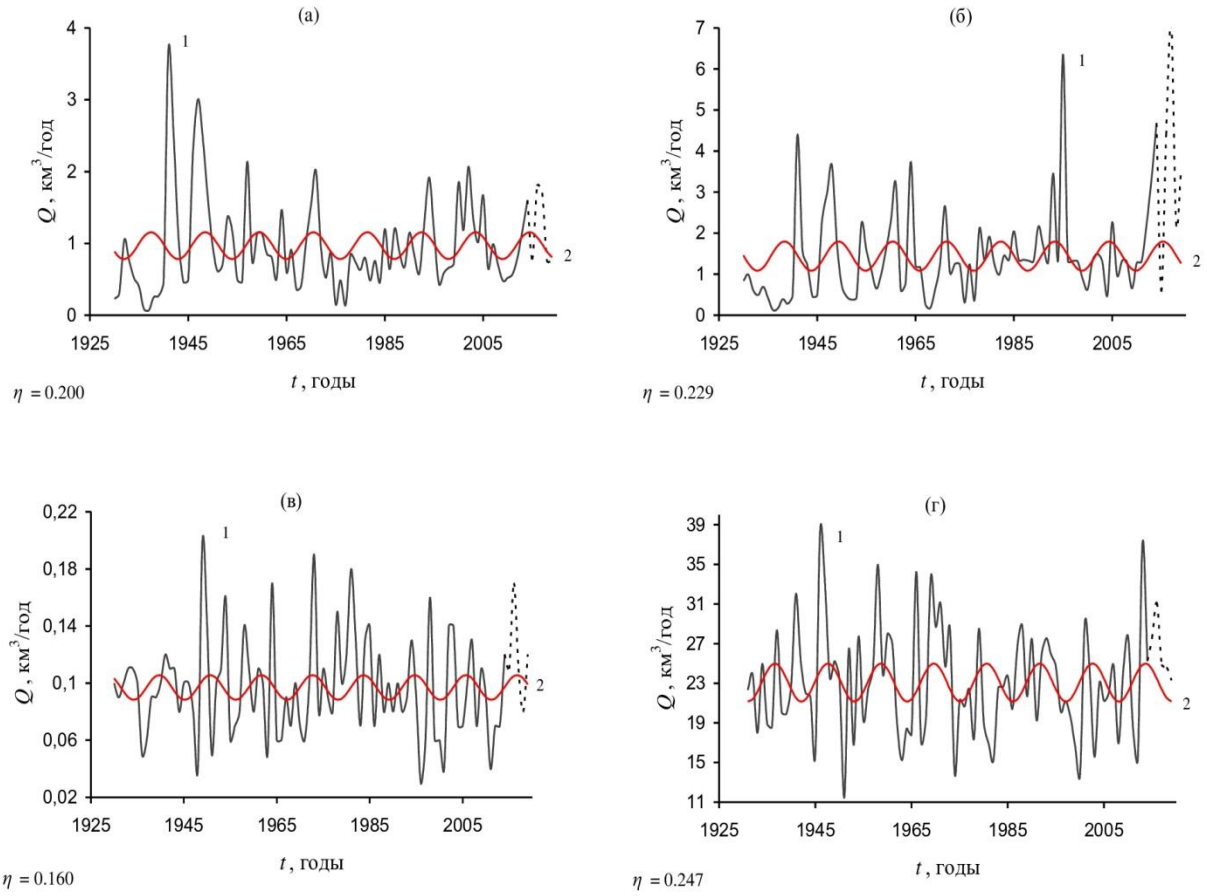


Рис. 2. Колебания местного стока Кустанайской (а), Кокчетавской (б), Кызылординской (в) и Восточно-Казахстанской (г) областей: 1 – данные наблюдений (пунктиром представлен поверочный интервал 2014 – 2019 гг.), синусоида с периодом 11 лет

Эта синусоида описывает повышенные значения местного стока Кокчетавской области у его максимумов 1961 и 1971 гг. и низкие с минимумами у 1944, 1975 – 1977 и

2009 гг. У местного стока Кызылординской области 11 летняя гармоника описывает его максимум 1971 г. и низкие его значения с минимумами 1955, 2001 и 2011 гг. Высокие значения местного стока Восточно-Казахстанской области и их максимумы 1946, 1958, 1969 – 1971 и 2013 гг., а также низкий сток с его минимумами 1953, 1963 – 1965 и 2008 гг. также описываются ею.

На интервале поверочного прогноза у всех четырех областей местный сток, в целом, превышал соответствующие средние значения. Поскольку этот интервал пришелся на фазу повышенных значений 11 летней гармоники, прогнозы по ней получились довольно успешными.

У Кустанайской и Восточно-Казахстанской областей максимум 11 летней синусоиды приходятся на 1937 г., а минимум на 1942 г., а у Кокчетавской ее экстремумы наступают позднее на год, отмечаясь соответственно в 1938 и 1943 гг. Максимум и минимум гармоники местного стока Кызылординской области приходятся соответственно на 1940 и 1945 г.

Таким образом, в колебаниях местного стока ряда областей РК проявляется синусоида с периодом 11 лет. Во многих случаях, особенно в северных и восточных областях республики, ее максимумы и минимумы приходятся на те же или близкие годы, что и соответствующие экстремумы 11 летней гармоники солнечной активности.

В отличие от других гармоник, выявленных по методу “Периодичностей”, результаты поверочных прогнозов местного стока по синусоиде с периодом 11 лет оказались лучше, чем по среднему значению соответствующих рядов. В данный момент эта гармоника в колебаниях солнечной активности находится у своего минимума. В ближайшие годы она может быть фактором, способствующим определенному повышению местного стока РК.

Литература

1 Абишев И.А., Медеу А.А., Мальковский И.М., Толеубаева Л.С. Водные ресурсы Казахстана и их использование // Материалы международной научно-практической конференции “Водные ресурсы Центральной Азии и их использование”. Алматы: Институт географии, 2016. Кн. 1. С. 9–18.

2 Медеу А.А., Мальковский И.М. Толеубаева Л.С., Алимкулов С.К. Водная безопасность Республики Казахстан: проблемы устойчивого водообеспечения. Алматы: Нурай Принт Сервис, 2015. 582 с.

3 Бабкин А.В. Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2005. № 11. С. 63–73.

4 Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 419 с.

5 Бабкин А.В., Бабкин В.И., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А., Чередниченко А.В. Закономерности месячных колебаний стока реки Или и его прогнозирование // Известия РАН. Серия географическая, 2020. т. 84. №3. С. 384–394.

СТРУКТУРА МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ И ФАКТОРЫ ЕЕ ФОРМИРУЮЩИЕ

Бойцов В.Д.
Новгородский филиал федерального государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО) г. Великий Новгород, Россия

THE STRUCTURE OF THE INTER-ANNUAL VARIABILITY OF LAKE ILMEN LEVEL AND ITS FACTORS SHAPING

Boitsov V.D.
Novgorod branch of the Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO)

В спектре колебаний уровня озера Ильмень в 1945-2016 гг. могут присутствовать квазивековой и 40-45-летний циклы, как и в изменчивости индекса западного переноса воздушных масс с Северной Атлантики. В диапазоне средних и высоких частот установлено сходство спектральной структуры уровня и осадков и достаточно высокая корреляционная связь.

The spectrum of lake Ilmen level fluctuations in 1945-2016 may include quasi-century and 40-45-year cycles, as well as the variability of the index of Western air mass transport from the North Atlantic. In the range of medium and high frequencies, the similarity of the spectral structure of the level and precipitation and a fairly high correlation between them are established.

Озеро Ильмень относится к группе озер с высоким периодом водообмена (2 месяца) поскольку с большой площади водосбора в него впадает 19 рек длиной более 10 км и несколько сот речек и ручьев, а вытекает только одна река – Волхов.

Внешний приток, формирующийся в результате выпадения твердых и жидких осадков на площадь водосбора и зеркало озера, вносит основной вклад в формирование приходной части его водного баланса и во многом определяет высокую амплитуду и сложную структуру колебаний уровня различного масштаба [1].

Озеро Ильмень для Новгородской области является важным хозяйственным объектом и главным водоемом рыбного промысла. Поэтому изучение особенностей колебаний его уровенной поверхности и разработка методов прогноза этого гидрологического параметра являются приоритетными научными и практическими задачами.

Цель настоящего исследования - выявления факторов, определяющих структуру межгодовой изменчивости уровня оз. Ильмень, результаты которого могут служить основой для разработки моделей его динамики.

Для анализа изменчивости этого гидрологического параметра использовались его месячные значения из информационной базы данных Новгородского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а данные твердых, жидких и смешанных осадков пяти метеорологических станций за 1945 - 2016 гг. были взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД [2]. Пункты наблюдений за вторым показателем расположены на территории Новгородской области (Старая Русса), а также в пределах площади водосбора оз. Ильмень или недалеко от его границ (Санкт-Петербург, Тихвин, Бологое, Великие Луки). Рассчитанная годовая сумма всех осадков затем усреднялась для пяти метеорологических станций.

В многолетних колебаниях уровня озера в 1945 - 2016 гг. нет линейного тренда, но присутствует полиномиальная компонента, аппроксимированная многочленом 3-ей степени. В динамике осадков также выявлен нелинейный тренд (рис. 1а). Однако для достоверной оценки периода этих составляющих длительность рядов данных является недостаточной.

Климатические (долгопериодные) водно-балансовые колебания уровня озер могут определятся атмосферной циркуляцией планетарного масштаба, особенности которой влияют на изменчивость температуры воздуха, продолжительность и степень увлажненности значительных по площади территорий и другие характеристики. Одним из показателей относительного доминирования зонального и меридионального переноса воздушных масс в Атлантико-Евразийском секторе, являются индексы атмосферной циркуляции W, E и C [3].

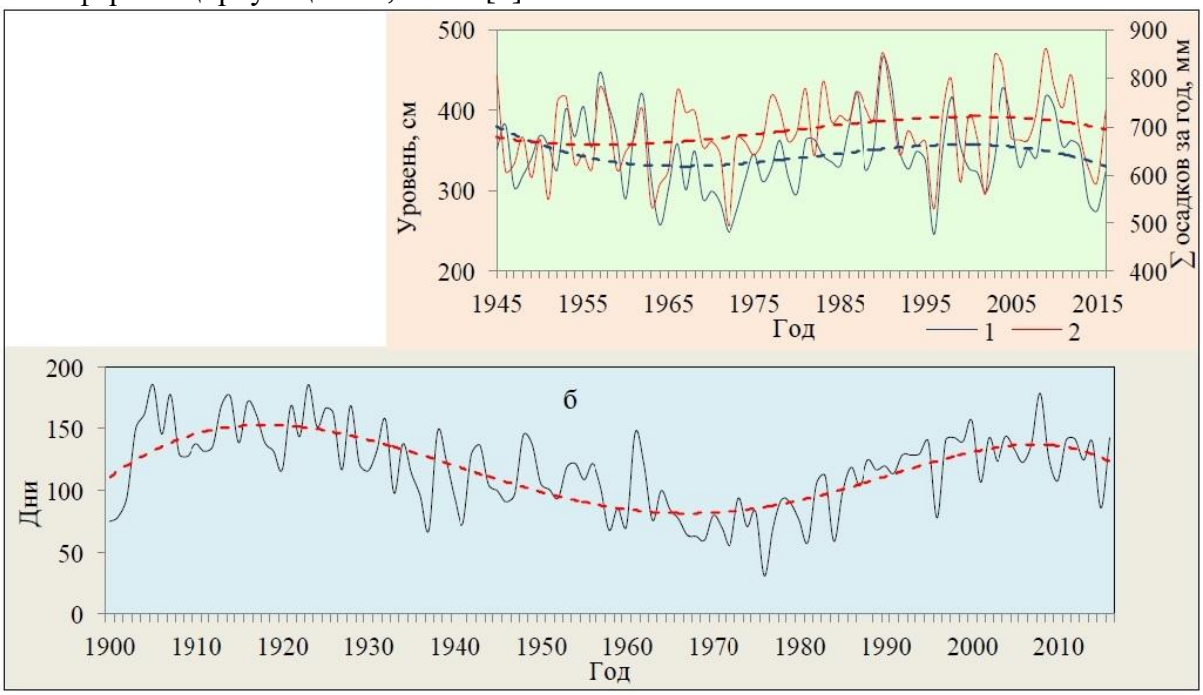


Рис. 1. Динамика годовых значений уровня оз. Ильмень (1) и осадков (2) в 1945-2016 гг. (а), индекса западного переноса воздушных масс в 1900-2016 гг. (б) и их долгопериодные нелинейные компоненты (пунктир)

Как известно, в периоды доминирования западного переноса влажных воздушных масс с акватории Северной Атлантики (индекс W) через Европу увеличивается количество осадков на континенте, что приводит к повышению уровня пресноводных водоемов, в том числе и на Северо-Западе России. При смене циркуляционных эпох, когда это направление движения воздуха ослабевает и доминирующими становятся другие типы циркуляции, увлажненность районов уменьшается, также как и водность озер.

Анализ межгодовых колебаниях индекса W показал наличие в его динамике в 1900-2016 гг. долгопериодной цикличности. Поскольку в аппроксимирующем ее полиноме имеется один максимум и один минимум можно предположить, что это квазивековая компонента. В интервале же с 1945 по 2016 г. ее основные параметры близки к показателям наиболее продолжительных нелинейных составляющих, присутствующих в динамике уровня оз. Ильмень и осадков, выпадавших на его водосборе (см. рис. 1а и 1б). В связи с этим можно предложить, что наличие циклических составляющие в многолетних колебаниях анализируемых

гидрометеорологических параметров является следствием усиления и ослабления западного переноса воздушных масс в Евразийский регион, которые в 1945-2016 гг. представляют собой лишь части их квазивековых ритмов.

В частотном составе индекса W и уровня оз. Ильмень кроме долгопериодной компоненты также присутствуют цикл длительностью 40-45 лет (рис. 2), который по А.В. Шнитникову [4] считается внутривековым «брикнеровским». Необходимо отметить, что такой составляющей нет в спектре осадков. Следовательно долгопериодный цикл и 40-45-летняя компонента в многолетних колебаниях уровня оз. Ильмень являются климатически обусловленными поскольку определяются влиянием крупномасштабного в пространстве и во времени фактора. Вклад этих квазипериодичностей в дисперсию колебаний годового уровня оз. Ильмень составляет около 20%. Их экстраполяция на несколько шагов вперед позволит оценить тенденцию его изменчивости.

После элиминации значений долгопериодных составляющих из исходных данных уровня оз. Ильмень и осадков за 1945-2016 гг. был выполнен спектральный анализ этих параметров, частотный состав которых оказался близким. Он включает квазипериодичности 26, 10-11, 7 лет и 2-4 года. В межгодовой изменчивости уровня оз. Ильмень наибольшую спектральную энергию имеют вариации 26 лет и 4 года. Схожий спектральный состав был нами выявлен в динамике температуры воды озера [5]. Следует отметить, что в межгодовых колебаниях уровня Ладожского и Онежского озер в среднечастотном диапазоне спектра присутствуют 25-30, 11 и 7-летние циклы [6].

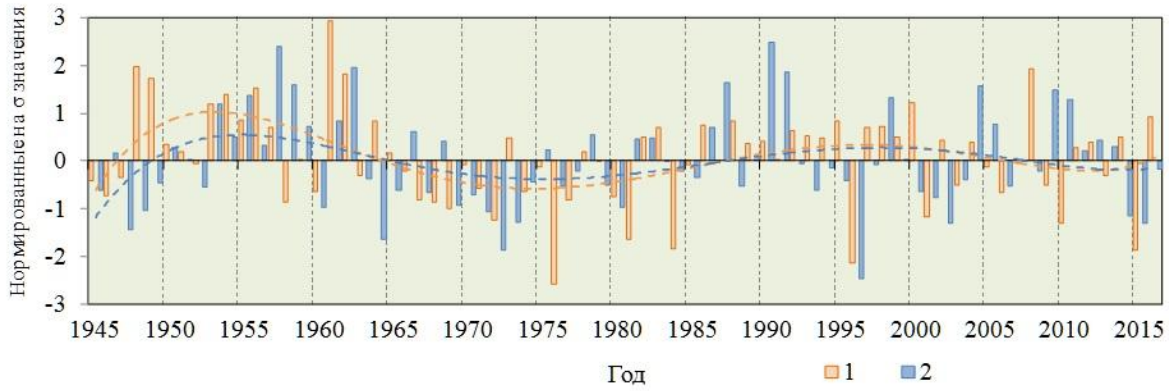


Рис. 2. Циклические 40-45-летние составляющие (пунктирные линии) в колебаниях индекса W (1) и уровня оз. Ильмень (2) после исключения из исходного ряда значений квазивековых компонент

Несмотря на то, что частотный состав межгодовых колебаний осадков, выпадавших на площадь водосбора и зеркало оз. Ильмень и его уровня, различается незначительно, сопряженность между этими параметрами оказалась не высокой. Положительный коэффициент корреляции составил r = 0,66. Для исследования возможных причин не достаточно тесной статистической связи между межгодовой изменчивостью влияющего фактора, которым являются осадки, и уровнем озера в области средних и высоких частот, был выполнен вейвлет-анализ. Он позволяет установить временные интервалы, когда происходило увеличение или уменьшение вклада отдельных циклических составляющих в изменчивость параметра, а также оценить устойчивость их периодов.

В межгодовых колебаниях уровня оз. Ильмень и осадков в 1945-2016 гг. наблюдались некоторые расхождения времени наступления экстремумов и величины их вклада в общую дисперсию наиболее значимых составляющей в динамике гидрометеорологических показателей (рис. 3). Эти и некоторые другие причины могли повлиять на снижение уровня сопряженности между ними в диапазоне средних и особенно высоких частот.

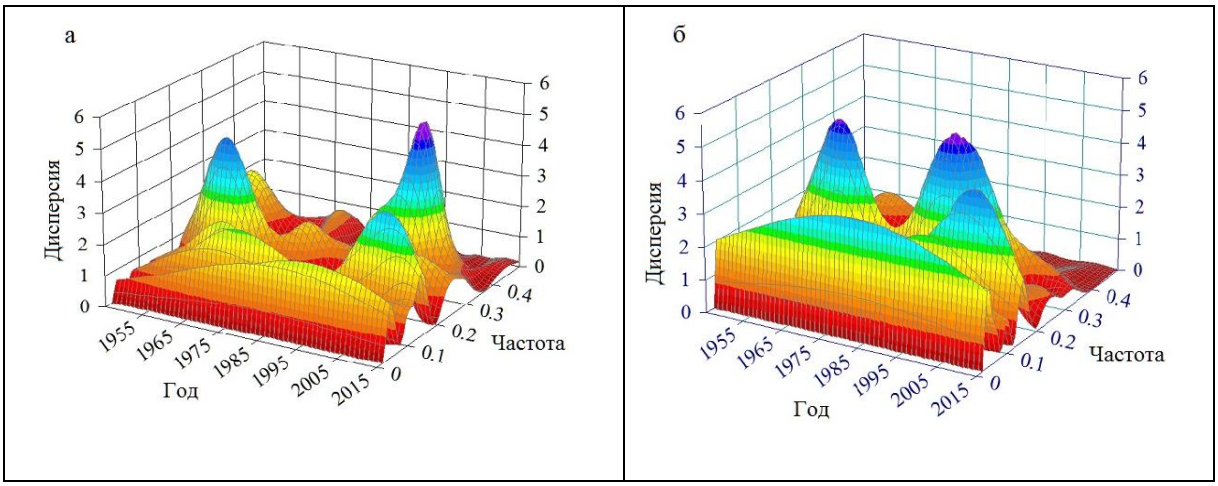


Рис. 3. Частотно-временной спектр годовой суммы осадков (а) и уровня оз. Ильмень (б) по данным 1945-2016 гг. после элиминации значений долгопериодных составляющих

По степени визуальной схожести вейвлет-спектра уровня оз. Ильмень и осадков в 1945-2016 гг. можно выделить два периода: 1945-1988 и 1989-2016 гг. В пределах первого диапазона согласованность во времени частот значимых сигналов меньше (коэффициент корреляции r = 0,54), чем второго временного отрезка (r = 0,79). Возможно это связано с тем, что с 1988 г. началось современное потепления климата Новгородской области и на территории субъектов Северо-Западного федерального округа РФ [7]. В первые две декады текущего столетия климатические долгопериодные циклические компоненты уровня оз. Ильмень и осадков имеют тенденцию на снижение, что может быть связано с увеличением испарения с водотоков на площади водосбора и зеркала озера.

На рисунке 4 представлены графики последовательно-суммированных аномалий осадков и уровня оз. Ильмень. Они были получены после исключения их исходных данных этих параметров квазивекового цикла и 40-45-летней составляющей, присутствующей только в динамике уровня. Такая процедура позволяет уменьшить вклад высокочастотных колебаний в общую изменчивость выборок. Коэффициент корреляции, равный r = 0,87, показал наличие высокой статистической связи между гидрометеорологическими характеристиками за 1945-2016 гг. Для 1945-1988 гг. он также оказался ниже (r = 0,75), чем для 1989-2016 гг. (r = 0,95).

Рис. 4. Динамика последовательно-суммированных сумм аномалий осадков (1) и уровня оз. Ильмень (2) в 1945-2016 гг. после исключения из исходного ряда данных долгопериодных нелинейных компонент

Литература

1. Экосистема озера Ильмень и его поймы/Ю. П. Сергеев, В.П., Кулеш, В.В. Дмитриев и др. Под. ред. Ю П. Сергеева. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского университета, 1997. – 276 с.
2. http://www.meteo.ru/data/506
3. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные метеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 280 с.
4. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. – Л. Наука, 1969. – 244 с.
5. Бойцов В.Д., Несветова Г.И. Условия среды и уловы рыбы в озере Ильмень: изменчивость, сопряженность, прогнозирование. - Великий Новгород: ТПК «Печатный Двор», 2017. – 274 с.
6. Филатов Н.Н., Назарова Л.Е., Сало Ю.А., Тержевик А.Ю. Оценки возможных изменений климата и их воздействие на некоторые характеристики гидрологического режима Ладожского и Онежского озер//Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. Материалы юбилейной конференции, посвященной 15-летию ИВПС, 2006. - С. 178-196.
7. Бойцов В.Д. Изменчивость климата Великого Новгорода за последние 120 лет. Известия РГО, - 2019. Т. 151, вып. 6. - С. 35-45.

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ НА ПРИМЕРЕ ЭКСТРИМАЛЬНЫХ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ ПОЛОМЕТЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ НА РЕКЕ ВОЛХОВ

Бубенчиков С.В., Маруныч А.С., Лобанов Ф.И.
Валдайский филиал ФГБУ «ГГИ», г. Валдай, Россия

FEATURES OF MODERN HYDROLOGICAL INFORMATION SYSTEMS WITH HIGH TIME RESOLUTION ON THE EXAMPLE OF EXTREME RAIN FLOWS IN THE EXPERIMENTAL BASIN OF THE RIVER POLOMYAT AND EXPERIMENTAL WORKS ON RIVER VOLKHOV

Bubenchikov S.V., Marunich A.S., Lobanov F.I.
The Valday branch of the STATE HYDROLOGICAL INSTITUTE, Valdai, Russia

В данном докладе приводятся особенности и преимущества использования информационно-измерительных гидрологических систем с малым временным разрешением на малых и крупных реках.
This report presents the features and advantages of using information-measuring hydrological systems with low temporal resolution on small and large rivers.

До настоящего времени гидрологическая сеть Росгидромета руководствуется наставлением для гидрологических станций и постов регламентирующим ручные наблюдения при отсутствии ленточных самописцев. Хотя в наставлении прописаны двухсрочные наблюдения, в реальных условиях, как правило, наблюдения производятся один раз в сутки. Современные приборы и оборудование, входящие в состав автоматических гидрологических комплексов (АГК), позволяют проводить измерения с временным интервалом буквально от секунды и более с возможностью передачи и визуализации данных в реальном времени. Такие возможности позволяют решать практические (предупреждения об опасных явлениях) и научные задачи при быстроразвивающихся гидрометеорологических процессах, в том числе дождевых паводках. Примерами таких паводков являются экстремальные дождевые паводки 2019 года, зафиксированные АГК (таблица 1) на реке Полометь.

Таблица 1- Основные характеристики постов на реке Полометь

№	Река / пост	Площадь водосбора, км^2	Разрешение данных	Используемый уровнемер
1	р.Лонница/ д.Дворец	48.3	1 ч.	OTT SE200
2	р.Соминка/ д.Дворец	33.9	1 ч.	OTT SE200
3	р.Полометь/ д.Дворец	432	1 ч.	OTT PLS,ГР-70
4	р.Олешенка/ д. Миронеги	31.9	1 ч.	OTT SE200
5	р.Полометь/д.Яжелбицы	631	1 ч.	OTT CBS, OTT RLS
6	р.Полометь/ д.Ермошкино	1 180	1 раз в сутки	ГМН, ГР-70
7	р.Полометь/ д.Лычково	2 180	1 раз в сутки	ГМН, ГР-70

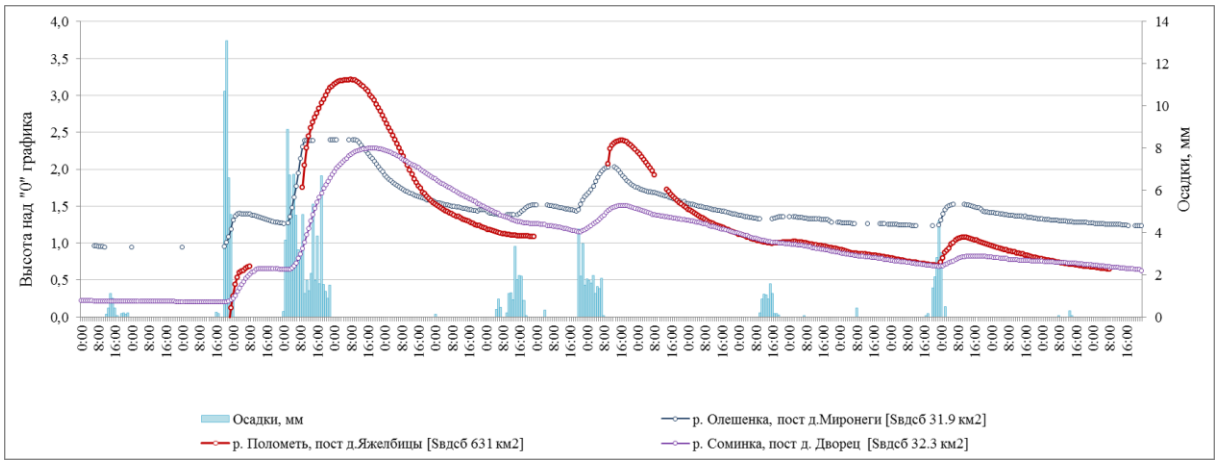


Рисунок 1- Дождевой паводок р. Полометь, август 2019г. (разрешение измерений 1 ч.)

Данные с АГК представлены на рисунке 1. По рисунку видно, что малые временные разрешения измерений уровня воды позволяют в полном объеме получить детальные данные по прохождению паводочной волны через створы и установить её добегание в зависимости от площади водосбора, геоморфологических характеристик водосбора и хода атмосферных осадков. При этом заблаговременность предупреждения подобных опасных явлений может составлять до 8 часов от момента выпадения основной суммы осадков до роста уровня до опасных отметок, что не позволяют редкие ручные наблюдений.

До настоящего времени считалось неактуальным малое временное разрешение (1 час и меньше) при измерении уровня на крупных реках, но прикладная работа ВФ ГГИ на реке Волхов, показала необходимость таких систем и для крупных рек. Из-за особенностей взаимодействия потока в русле и пойме в местах измерений уровня на р.Волхов нами использовались три типа уровнемеров: гидростатический, барботажный и радарный(OTT PLS, OTT CBS и OTT RLS предоставленные компанией ООО КНТП). Разнообразие приборов позволило без дополнительных затрат и усилий организовать временные измерительные посты. Например, в деревне Пчева из-за очень пологого берега было принято решение установить барботажный уровнемер (рисунок 2), так как прокладка измерительной трубки в кабель-канале до необходимой глубины гораздо проще и целесообразнее, чем монтаж любого другого типа уровнемеров в данном месте. Также в городе Кириши был организован временный гидрологический пост с применением радарного уровнемера OTT RLS, смонтированным на монументальных основаниях бывшего трубопровода (рисунок 3).

Рисунок 3- Радарный уровнемер OTT RLS

Рисунок 4- Гидростатичский уровнемер OTT PLS

Рисунок 2 - Барботажный уровнемер OTT CBS

В д. Плотичное выбрано место (рисунок 4) для оборудования временного водомерного поста с гидростатическим АГК OTT PLS. Место для установки является частной охраняемой территорией с укрепленным железо-бетоном берегом, что позволяет с минимальными трудозатратами установить гидростатический уровнемер.

Для архивации данных установленных уровнемеров, их визуализации и контроля работы на сервере Валдайского филиала «ГГИ» был создан технический сайт (рисунок 5). Он позволяет осуществлять контроль текущих параметров в режиме реального времени.

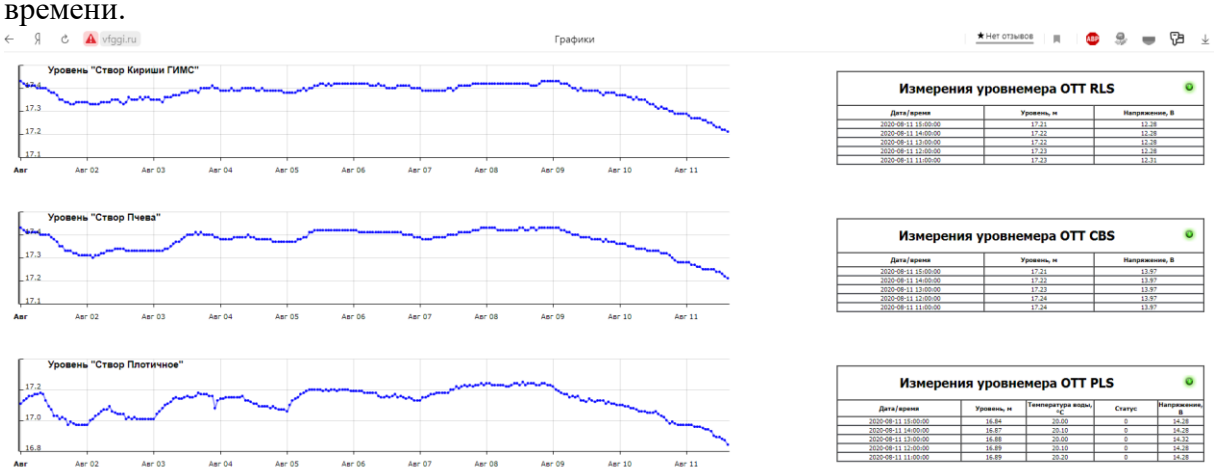


Рисунок 5- Вид технического сайта с результатами измерений

График сравнения измерений уровня АГК на реке Волхов на рисунке 6 демонстрирует разницу в качестве данных при разных временных интервалах измерений. Часовые данные полностью отражают ситуацию с уровнем, двухсрочные измерения частично отражают ход уровня, и, соответственно, суточные измерения далеки от реальности.

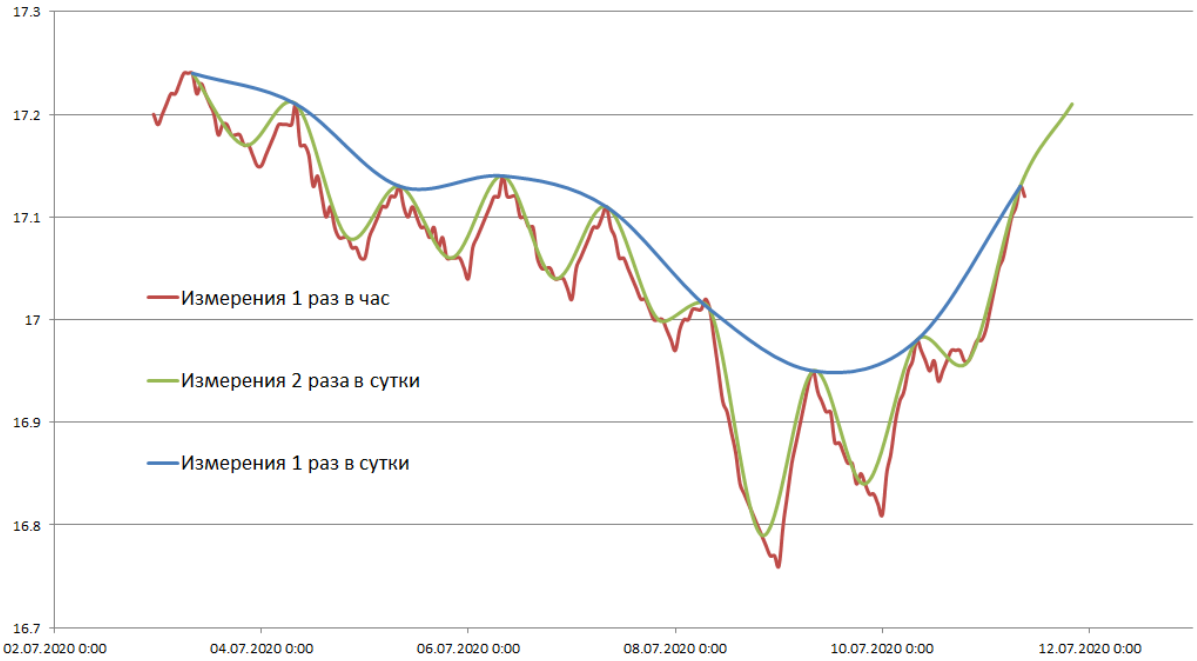


Рисунок 6- Сравнение результатов измерений уровня с разным временным интервалом

Данные с высоким разрешением позволяют увидеть особенности уровенного режима в зависимости от различных факторов и использовать эти данные для решения не только научных, но и прикладных задач.

Выводы:

1. Измерительные системы с высоким временным разрешением на крупных реках позволяют получать более достоверные данные в реальном времени. Для малых рек и рек с быстроразвивающимися паводками такие системы необходимы, так как суточные или полусуточные наблюдения в некоторых случаях не позволяют зафиксировать не только ход паводка, а иногда и сам паводок.
2. Данные высокого временного разрешения, получаемые в реальном времени, интегрированные с оперативными данными об осадках, радиолокационными данными позволяют создавать автоматизированные системы предупреждения об опасных явлениях с максимально возможной заблаговременностью. В настоящее время используемые системы по предупреждению о паводках основываются в основном на данных об уровнях, при этом выдавая предупреждение, когда уровни уже достигли опасных значений.
3. На основе наших экспериментальных работ достаточными для большинства гидрологических задач являются временные интервалы:

- для уровня 60 минут
- для осадков 10 минут
- для радиолокационных данных 10 минут.

ПРОБЛЕМЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Бубнова Я.В., Багдасарян А.А., Гнатенко К.В.
РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время сохранение здоровья населения, стоит в центре внимания всех государств, особенно в период пандемии. Здоровье человека включает в себя не только образ жизни без вредных привычек, физическое самосовершенствование и выбор безопасной для организма человека продукции, товаров, бытовой химии.

Currently, the preservation of public health is the focus of all States, especially during the pandemic. Human health includes not only a lifestyle without bad habits, physical self-improvement and the choice of products, goods, and household chemicals that are safe for the human body.

Целью нашего исследования стало изучение особенностей и мотивов выбора российских потребителей с учетом экологической безопасности продукции.
Актуальность выбранной темы обосновывается тем, что исследование проводилось до марта 2020 года (до ввода карантина в нашем городе) и после снятия ограничений в сентябре 2020 года. При выборе товара современные люди пользуются целым комплексом различных факторов, одним из них как раз и является степень воздействия производимой продукции на окружающую среду и самого человека в целом. Отражением качества продукции в данном контексте является экомаркировка. [1].

Активное освоение природных ресурсов человечеством привело к их неминуемому истощению, к угнетению окружающей среды. Природные богатства превратились в инструмент получения материальный благ, которые обеспечивают комфортные условия жизни [2]. Психология потребителя – отрасль экономической психологии, изучающая особенности потребительского рынка, человека как потребителя, субъекта и объекта рекламы [3]. Управление потребительским поведением предполагает знание и использование психологических механизмов формирования решений о покупках. В этой области необходимо учитывать особенности процесса восприятия и обработки информации для принятия решения о покупке, мотивацию, жизненный стиль, личность и эмоции покупателя [4].

Потребитель постоянно стремиться удовлетворить свои потребности и желания. Существует множество мотивов, благодаря которым люди приобретают огромное количество товаров. Например, хорошая реклама, нацеленная на формирование определенной картинки

счастливого человека. Или же желание обладать уникальным ресурсом для того, чтобы чувствовать себя более успешным. [5].

Мы провели в марте 2020 года исследование с целью изучения особенностей и мотивов выбора российских потребителей с учетом экологической безопасности продукции. Оно было основано на сборе первичной информации методом анкетирования. Анкета состояла из закрытых и полузакрытых вопросов с возможностью указания собственного ответа, а также содержала в себе 18 вопросов. Анкетирование было проведено среди населения различных регионов Российской Федерации с возрастным диапазоном от 17 до 50 лет. Всего в опросе приняло участие 120 человек. Данный метод исследования был принят нами как наиболее простой и наглядный. Исследование проводилось, как среди респондентов, потенциально относящихся к группе экологически ориентированных потребителей, так и среди среднестатистического населения. Для получения полноценной картины до пандемии и после снятия ограничений, мы провели повторное исследование в сентябре 2020 г. Также следует расширить возрастной и профессиональный диапазон, так как всего в опросе приняло участие 120 человек, преимущественно женского пола (78%). Рассматривались несколько возрастных групп, большая часть респондентов от 17 до 25 лет (80%), далее 10,8% в возрасте от 26 до 35 и 9,2% в возрасте от 36 до 50. Так как большинство попадает в группу молодежи, по профессиональной ориентации лидирует группа студентов (ВУЗы и ССУЗы – 63%). Остальные 37% включают в себя различные виды профессии, например, такие как фармацевт, инженер, преподаватель, фрилансер, иллюстратор, менеджер и другие.

Далее мы ставили вопрос об удовлетворенности уровнем собственного дохода или дохода семьи. Полностью довольны своим заработком всего 13,3% опрошенных, больше половины, то есть 53,3%, довольны, но хотели бы увеличить сумму, остальные 33,3% опрошенных полностью не удовлетворены собственным уровнем доходов. Это связано с тем, что человек, довольный своим доходом, зачастую очень избирателен и все больше начинает обращать внимание на состав продукта, страну производитель, долговечность и в последнее время степень воздействия на окружающую среду.

Следующим был поставлен вопрос о том, считают ли респонденты современное общество обществом потребления, и 60% полностью согласны с данным утверждением, 38,3 % согласны частично и 1,7% затрудняется ответить.

В ходе нашего исследования было выявлено, что основными факторами покупки нового товара являются цена (77,5%), качество (89,2%), отзывы и советы близких

(46,7%). Далее идет бренд (21,7%), степень воздействия на окружающую среду (20%) и 10% делят мода и наличие экомаркировок. Данные результаты весьма позитивны, так как наряду с естественными требованиями к товару (цена, качество) опрошенные не оставляют без внимания экологическую составляющую.

Наибольший вклад в консюмеризм современного общества, а также в проблему утилизации огромного количества отходов вкладывают импульсивные покупки. И по результатам опроса постоянным импульсивным покупкам подвержены 13,3%, периодически – 53,3%, а 24,1% практически никогда не совершают покупки на эмоциях или из желания потратить деньги, а также всегда планируют свои расходы. Остальные 5,8% затруднялись ответить. Также душевное удовлетворение от совершения покупки чувствуют 22,5%, только от покупки чего-то желанного и уникального чуть больше половины – 50,8%, а 25% иногда и почти никогда не чувствуют радости от совершения импульсивной покупки и остальные 1,7% затрудняются ответить. Зачастую приобретение дорогостоящих и брендовых товаров сопровождаются возникновением чувства собственного успеха. Исходя из опроса 29,2% респондентов испытывают это чувство постоянно, 39,2% - иногда, 28,3% никогда не испытывают подобного чувства и остальные затрудняются ответить. Для сокращения образования большого количества отходов, сломанные вещи рекомендуется ремонтировать, а не выбрасывать и покупать новые, это же может помочь в сохранении бюджета. Так 13,3% опрошенных следуют данному совету, подавляющее большинство (81,7%) предпочитает исходить из ситуации и всего 5% покупают новую замену.

Далее нами был задан вопрос о том, как респонденты понимают термин «рациональное потребление». Обобщая результаты, можно сказать, что практически каждый опрошенный представляет, о чем идет речь. Респонденты охарактеризовали данный термин как «малоотходное», «обдуманное», «правильно расставленные приоритеты», «не жить в погоне за брендами», «потребление на разумном уровне», «соответствие потребностям и возможностям», «осознанный подход к покупке и использованию», «такое потребление, при котором вещь или продукт полностью удовлетворили свое предназначение покупки», «вторичное использование вещи» и другое. Исходя из этого, следующим блоком шли вопросы о том, волнует ли респондентов состояние окружающей среды их населенного пункта. Подавляющее большинство (78,3%) ответила «да», 8,3% ответили «нет» и 13,3% затрудняются ответить. Больше половины опрошенных (53,3%) также предполагают, какое количество отходов образуется в мире каждый год, 18,3% знают точную цифру, но

также 28,3% не догадываются о количестве производимых отходов в мире. Однако раздельным сбором мусора занимаются только всего 10% опрошенных, периодически включают в свой ритм жизни раздельный сбор отходов уже большее количество респондентов – 19,2%, редко этим занимаются 22,5%, больше всего составляет группа желающих начать – 33,3%, 15% опрошенных не волнует данный вопрос, и они не занимаются раздельным сбором. Однако 64,2% волнует проблема сортировки и утилизации отходов. В данном случае отличным выходом является ресайклинг, переработка и вторичное использование вещей можно извлечь дополнительную выгоду, но об этом осведомлены всего 46,7% опрошенных.

В сентябре 2020 года было проведено второе исследование с целью изучения изменения особенностей и мотивов выбора российских потребителей с учетом экологической безопасности продукции за период пандемии. Анкеты состояли из закрытых и полузакрытых вопросов с возможностью указания собственного ответа, а также содержала в себе 10 вопросов. Анкетирование было проведено среди населения различных регионов Российской Федерации с возрастным диапазоном от 17 до 50 лет.

Рассматривались несколько возрастных групп, большая часть респондентов от 17 до 25 лет (71%), далее 16,7% в возрасте от 36 до 50, 7% от 51-60 и 4,8% в возрасте от 26 до 35. Так как большинство попадает в группу молодежи, по профессиональной ориентации лидирует группа студентов (ВУЗы и ССУЗы – 57,1%). Остальные 42,9% включают в себя различные виды профессии. Далее мы ставили вопрос о степени влияния периода пандемии на уровень собственного дохода или дохода семьи. У 35,7 % респондентов уровень дохода остался неизменным, на 33,3% респондентов повлиял незначительно и 28,6% опрошенных доход значительно упал в период пандемии. Это связано с тем, что период режима карантина в стране нанес огромный ущерб экономики и как следствие уровню дохода населения, и это значит, что количество людей, недовольные своим уровнем финансовой обеспеченности, возросло. Человек, довольный своим доходом, зачастую очень избирателен и все больше начинает обращать внимание на состав продукта, страну производитель, долговечность и в последнее время степень воздействия на окружающую среду. Следствием вышесказанного являются результаты ответов следующего вопроса об изменениях причин приобретения того или иного товара за период пандемии, в которых 19% респондентов полностью пересмотрели основные причины приобретения в сторону цены товара, у 38% опрошенных незначительно изменили свои причины и 43%

сохранили прежние причины приобретения (из опроса в марте до периода пандемии большинство голосов было отдано критерию в виде цены товара).

Наибольший вклад в консюмеризм современного общества, а также в проблему утилизации огромного количества отходов вкладывают импульсивные покупки. И по результатам опроса постоянным импульсивным покупкам в период пандемии были подвержены 14,3%, периодически – 19 %, практически никогда не совершают покупки на эмоциях или из желания потратить деньги -14,3%, а также всегда планируют свои расходы 45,2%. Остальные 7% затруднялись ответить. Эти данные позволяют сделать вывод о том, что большинство респондентов пересмотрело свое отношение в этом вопросе за период пандемии. Люди стали больше контролировать свой расход и намного меньше подвергаться импульсивным покупкам, что является результатом глобального влияния пандемии. Далее респондентам был задан вопрос об изменении состоянии окружающей среды их населенного пункта (поселка, района, города и т.д.). Так, 71,4 % ответов о том, что видимых изменений не произошло, одна 16,7 % заметили изменения в лучшую сторону на отдельных участках населенного пункта и 10 % отметили положительную динамику состояния экосистем, также было замечено респондентами, что окружающая среда стала заросшей и дикой, однако уменьшился уровень загрязнения бытовым мусором.

Далее нами был задан вопрос о том, появились ли в их жизни за период пандемии «экопривычки». Подавляющее большинство, к сожалению, не обзавелись экопривычками (91,1%). Однако остальные респонденты поделились приобретёнными «полезными» привычками: сортировка мусора, использование экомешочков для покупки овощей и фруктов, сдача пэт-бутылок, экономия на покупках, сдача макулатуры, использование термоса для покупки напитков вне дома, вместо одноразовых стаканчиков, сдача ненужной одежды на переработку.

Следующим вопросом мы попросили респондентов рассказать возросло ли количество отходов, производимых ими за период пандемии. У 46,7% опрошенных количество производимых отходов осталось на том же уровне. Остальные опрошенные разделились поровну (26,7%) на тех, у кого количество отходов возросло и тех, у кого снизилось. Возможными причинами увеличения количества отходов опрошенные назвали увеличение времени нахождения дома, нерабочие дни, большое количество покупок в офлайн и онлайн магазинах от скуки, заказы продуктов и готовой еды на дом, покупки средств индивидуальной защиты. Отметим, что в период пандемии респонденты стали чаще планировать свои расходы и не поддаваться на сиюминутные

желания и эмоции. Однако больше 90% опрошенных не заинтересовались темой «экопривычек», в то время как до пандемии около 40% опрошенных хотели заняться сортировкой мусора. Количество отходов в основном не изменилось почти у половины опрошенных, некоторые отмечали даже их увеличение.

Литература

1. Лукина А. В. Экологический фактор в отношении и поведении российских потребителей // Вестник Российского экономического университета имен Г.В. Плеханова. 2012. №6. – С. 74-80.
2. Ильин А.Н. Культура потребления и экология: проблемы взаимодействия // Человек в мире культуры. Региональные культурологические исследования. 2017 год. №2/3(21). – С. 164-173.
3. Лаптева И.П., Трусова Л.Н., Гришина Е.Н. Подходы к оценке факторов потребительского поведения // Статистика и экономика. 2018. №3. – С. 30-39.
4. Блинова Ю.Э., Плискановская М.И. Психология потребительского поведения: экологические маркировки как маркетинговый инструмент // Сборник Байкальской международной бизнес-школы. 2013. №14. – С. 28-32.
5. Радаев В.В. Социология потребления: основные подходы // Социологические исследования. 2005. № 1. – С. 5-18.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДНОГО СЛОЯ С ПАРАМЕТРИЗАЦИЕЙ СТРАТИФИКАЦИИ И ЭЛЕМЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ

Булгаков К.Ю.[1], Фокина К.В. [2]
[1]Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия
[2]Российский Государственный Гидрометеорологический Университет, Санкт-Петербург, Россия

MODELING THE SURFACE LAYER ABOVE SEA WITH PARAMETERIZATION OF STRATIFICATION AND THE ELEMENTS OF THE WIND WAVES INFLUENCE

. Bulgakov K.Yu [1], Fokina K.V. [2]
[1] *P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS*, Moscow, Russia
[2] Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Модель одномерного пограничного слоя атмосферы над волнами была дополнена уравнениями диффузии тепла и влаги, формулами для расчета потока тепла и испарения на границе вязкого подслоя. Проведена серия экспериментов стратифицированного волнового пограничного слоя, в которых менялись степень развития волнового поля и метеорологические характеристики на верхней границе волнового пограничного слоя. Показано, что при небольших и умеренных скоростях ветра существенное влияние на тепло- и влагообмен в волновом пограничном слое оказывает стратификация.

The model of the one-dimensional wave boundary layer of the atmosphere was supplemented with equations for the diffusion of heat and moisture, formulas for calculating the heat flux and evaporation at the boundary of the viscous sublayer. A series of experiments on a stratified wave boundary layer was carried out, in which the degree of development of the wave field and meteorological characteristics at the upper boundary of the wave boundary layer changed. It is shown that at low and moderate wind speed values, stratification has a significant effect on heat and moisture exchange in the wave boundary layer.

Введение

Изучение процессов обмена импульсом, тепла и влаги в волновом пограничном слое атмосферы представляет особую важность для различных, в том числе и прикладных, задач геофизической гидродинамики. Волновой пограничный слой (далее ВПС) представляет собой нижнюю часть пограничного слоя атмосферы, в котором создаваемое волновыми пульсациями перемешивание сопоставимо по интенсивности с турбулентным обменом. Наибольший интерес представляет изучение потоков импульса, тепла и влаги на поверхности раздела между ВПС и водой. Эти характеристики являются граничными условиями для моделей циркуляции океана и определяющими параметрами стратификации для планетарного пограничного слоя атмосферы.

Расчет потоков импульса, тепла и влаги с учетом вязкого подслоя подразумевают использование высокого вертикального разрешения и требуют значений скорости ветра, температуры и влажности на верхней границе вязкого подслоя. Несмотря на то, что в прикладных задачах геофизической гидродинамики использовать такое разрешение не представляется возможным, для исследовательских целей вполне осуществимы расчеты с помощью математической модели волнового пограничного слоя с вертикальной сеткой, нижний шаг которой имел бы порядок вязкого подслоя.

Описание экспериментов

В ранее опубликованных работах [1], [2] и [3] представлена одномерная модель ВПС для нейтрального пограничного слоя. Данная модель была получена путем интегрирования по горизонтали двумерных уравнений движения и баланса кинетической энергии турбулентности, записанных в следящей поверхности системе координат. Полученные уравнения отличаются от одномерных уравнений турбулентной диффузии наличием члена, описывающего волновой поток импульса. Была найдена аппроксимация данного потока по результатам, полученным с помощью двумерной модели пограничного волнового слоя. Результаты проведенных по модели расчетов представлены в виде зависимости коэффициента сопротивления (коэффициента обмена для импульса) от скорости ветра. В настоящей работе предложено дальнейшее развитие модели волнового пограничного слоя, которая включает в себя тепло - и влагообмен.

Рассматривается горизонтально однородный слой атмосферы над волновой поверхностью от некоторого среднего или невозмущенного уровня до высоты H, которая принимается равной 10 м. Волновое поле задается двумерным спектром $S(\omega,\Theta)$, где ω – частота, Θ – угол между направлением ветра и направлением движения соответствующей компоненты спектра.

Была проведена серия экспериментов с различными комбинациями входных параметров модели: обратного возраста волны – Ω_n, скорости ветра – $u(H)$, относительной влажности – $rh(H)$, разностью между потенциальной температуры и температурой поверхности воды $\Delta\Theta=\Theta(H)-T_{sea}$. Эксперименты проводились для широкого спектра условий, в том числе и малореальных. Каждый эксперимент проводился до выхода модели на стационарное решение, которое должно удовлетворять условиям баланса суммы потоков (волнового и турбулентного) для всех субстанций. По результатам каждого эксперимента были рассчитаны коэффициенты сопротивления, тепло- и влагообмена на поверхности.

Помимо этого, для набора входных данных каждого эксперимента были также рассчитаны турбулентные потоки с помощью широко используемой в настоящее время процедуры COARE3.0 [4], которая дополнительно включает в себя учет порывистости ветра и зависимость уровня шероховатости от высоты значительной волны. Это позволяет неявным образом учитывать волновой поток импульса как часть турбулентного потока. Для потоков, полученных с помощью процедуры COARE, были рассчитаны соответствующие коэффициенты импульсом, теплом и влагой обмена – $C_{d\ COARE}$, $C_{h\ COARE}$, $C_{q\ COARE}$. Таким образом, можно отметить, что главной задачей проведенной работы являлась качественная оценка зависимости потоков на поверхности океана от вышеуказанных входных данных.

Результаты экспериментов

По результатам экспериментов было оценено качественное влияние упомянутых ранее входных параметров на интенсивность турбулентного обмена различных субстанций. В качестве примера на рис.1 представлены зависимости коэффициентов обмена скорости ветра при разных значениях обратного возраста волны. Учитывая, что процедура COARE не использует каких-либо параметров, характеризующих степень развития волн, коэффициенты сопротивления, тепло- и влагообмена, рассчитанные данной процедурой, не зависят от Ω_n.

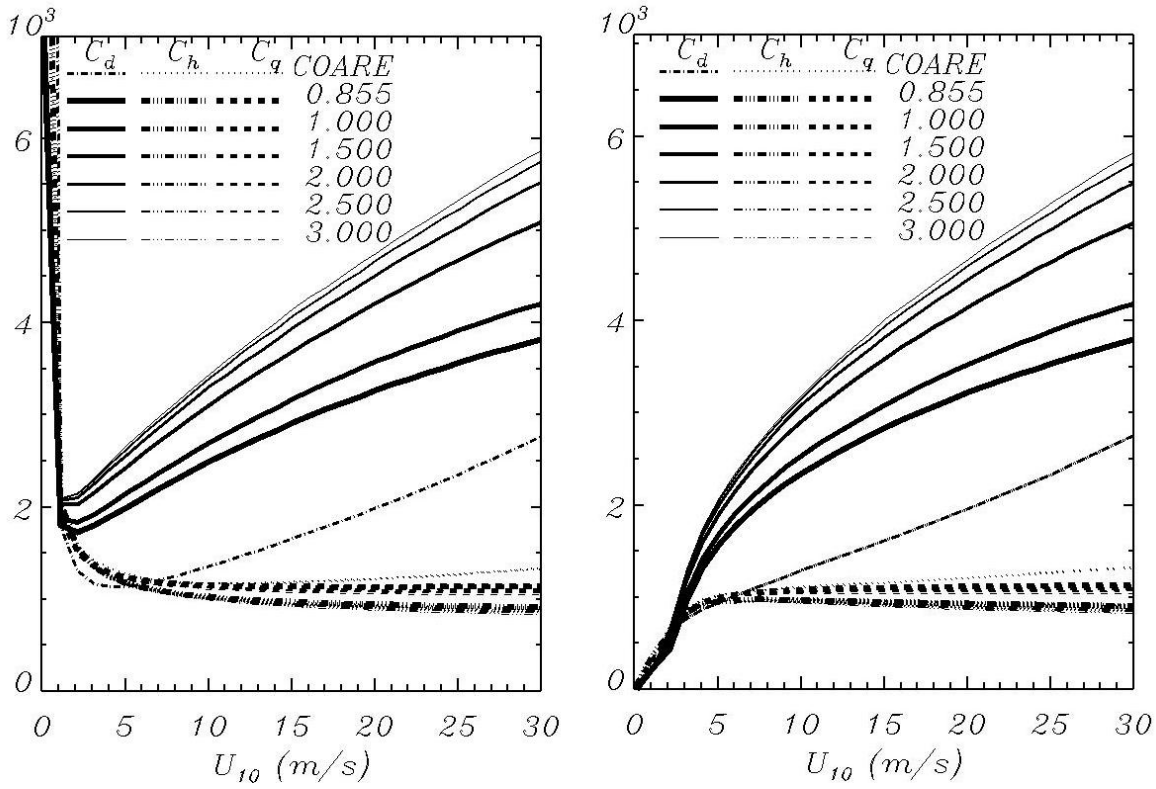


Рис. 1. Зависимость коэффициентов обмена от $u(H)$ при разных значениях Ω_n, $rh(H) = 0.8$ Левая панель $\Delta\Theta = -1$ (неустойчивая стратификация), правая панель $\Delta\Theta = 1$ (устойчивая стратификация).

Из рис.1 видно, что значения коэффициентов тепло- и влагообмена для различных возрастов волн при одних и тех же скоростях ветра практически совпадают, а коэффициент сопротивления, рассчитанный моделью, существенно зависит от обратного возраста волны. При больших скоростях ветра значения C_d соответствующие минимальному и максимальному значению обратного возраста волны отличаются почти в 1.5 раза. Это объясняется тем, что в развивающемся волнении высокочастотные волны имеют большую амплитуду, чем в развитом волновом поле, и, следовательно, создается большее сопротивление воздушному потоку

Аналогичные зависимости были получены и для других входных параметров, упомянутых ранее. Анализ результатов и обобщенные закономерности приведены в следующем разделе.

Заключение

Предложенная в работе одномерная модель с одной стороны, имеет достаточное разрешение для расчета потоков субстанций на границе вязкого подслоя, с другой стороны вычислительно эффективна и позволяет проводить массовые расчеты.

Проведенная серия экспериментов позволила оценить качественное влияние этих параметров на интенсивность турбулентного обмена различных субстанций. Показано, что значение влажности воздуха не оказывает значимого влияния на турбулентный обмен в ВПС. Степень развития волн оказывает существенное влияние на коэффициент сопротивления, коэффициенты тепло- и влагообмена практически не зависят от возраста волн. Перепад температур над поверхностью моря и на высоте 10 метров оказывает существенное влияние на коэффициенты обмена при скоростях ветра до 20 м/с. Турбулентный обмен в устойчивой среде более чувствителен к значению перепада температур, чем в неустойчивой.

Сравнение коэффициентов обмена, рассчитанных моделью, с потоками, рассчитанными по процедуре COARE, показало, что коэффициент сопротивления, рассчитанный в модели ВПС, больше, чем коэффициент сопротивления, рассчитанный COARE, что объясняется

разными способами учета волнового влияния на обмен в ВПС. Наибольшее влияние на обмен импульсом оказывает скорость ветра и степень развития волн. Влияние стратификации ощутимо на сравнительно небольших скоростях ветра. Полученные в ходе работы результаты могут быть положены в основу для разработки новых или уточнения существующих методов расчета потока на поверхности океана.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-01122.

Литература

1. *Чаликов Д.В., Булгаков К.Ю.* Структура приводного слоя атмосферы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12. №2. С. 50–65.
2. *Chalikov D., Babanin A.V.* Parameterization of wave boundary layer // Atmosphere. 2019. Vol 10. Is. 11.
3. *Chalikov D., Rainchik S.* Coupled numerical modelling of wind and waves and the theory of the wave boundary layer // Boundary-Layer Meteorol. 2010. Vol. 138. Iss 1. P. 1–41.
4. *Fairall C.W., Bradley E.F. ,Hare J.E., Grachev A.A., Edson J.B.* Bulk parameterization of air-sea fluxes: updates and verification for COARE Algorithm // Journal of Climate. 2003. Vol. 16. P 571–591

РАЙОНИРОВАНИЕ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ ПО ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ

Виноградова В.В.
Институт географии РАН, Москва, Россия.

REGIONALIZATION OF THE NORTHERN AND ARCTIC TERRITORIES OF RUSSIA BY NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF HUMMAN LIFE

Vinogradova V.V.
Institute of Geography RAS, Moscow, Russia.

Продолжающееся глобальное потепление и рост экстремальных климатических явлений особенно ярко проявляются в северных и арктических регионах России. Северные территории охватывают 68% площади России. Для северных территорий основным фактором их устойчивого развития является природно-климатический дискомфорт условий жизни. В связи с этим возрастает актуальность использования районирования России по природным условиям жизни человека для оценки условий современного климата и прогнозирования условий жизни населения в будущем. Исследование природно-климатических условий в северных и арктических регионах России проводилось с использованием метода районирования территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям жизни населения. Районирование производится на основе степени влияния основных природных факторов: холода, жары, влажности, высоты над уровнем моря, катастрофических явлений (гидрометеорологических, сейсмических, геокриологических). Для Северных территорий выделены четыре зоны, неблагоприятного или благоприятного воздействия на здоровье, жизнедеятельность и трудовую активность населения: I – абсолютно неблагоприятная; II – очень неблагоприятно; III – неблагоприятный; IV – условно неблагоприятный. Были проанализированы природные условия жизнедеятельности населения во второй половине XX века и их изменения в середине XXI века. В результате потепления в 2001–2010 гг. произошло значительное сокращение территории с абсолютно неблагоприятными и очень неблагоприятными условиями. Величина этого сокращения была сопоставима с изменениями возможными при «жестком» антропогенном сценарии на период 2046–2055 гг.

Continuing global warming and an increase in extreme climatic events are especially pronounced in the northern and arctic regions of Russia. The northern territories cover 68% of the area of Russia. For the northern territories, the main factor of their sustainable development is the natural and climatic discomfort of living conditions. In this regard, the relevance of using the zoning of Russia according to the natural conditions of human life for assessing the conditions of the modern climate and predicting the living conditions of the population in the future increases. The study of natural and climatic conditions in the northern and arctic regions of Russia was carried out using the method of zoning the territory of the Russian Federation according to the natural and climatic conditions of the population. Zoning is based on the degree of influence of the main natural factors: cold, heat, humidity, altitude, catastrophic events (hydrometeorological, seismic, geocryological). For the Northern Territories, four zones have been identified that have an unfavorable or beneficial effect on health, life and labor activity of the population: I - absolutely unfavorable; II - very unfavorable; III - unfavorable; IV - conditionally unfavorable. The natural conditions of life of the population in the second half of the XX century and their changes in the middle of the XXI century were analyzed. As a result of warming in 2001–2010. there was a significant reduction of the territory with absolutely unfavorable and very unfavorable conditions. The

magnitude of this reduction was comparable to the changes possible under the "hard" anthropogenic scenario for the period 2046–2055.

Продолжающееся глобальное потепление и рост экстремальности климата сильнее проявляются в северных и арктических регионах России. Рост температуры в криолитозоне России почти вдвое превышают средние по планете, достигая 1.6 С/10 лет [1]. Севернее 60° с.ш. средняя температура воздуха с октября 2018 по август 2019 г. стала второй в ряду самых теплых, начиная с 1900 года [2]. Атмосферные осадки на территории России демонстрируют изменения разной направленности в зависимости от региона и сезона с преобладанием тенденций к увеличению, в особенности весной и осенью [1]. Для северных территорий основным фактором их устойчивого развития является природно-климатический дискомфортность жизни населения. В связи с этим, возрастает актуальность использования районирования России по природным условиям жизни населения в условиях меняющегося климата. Ожидаются как положительные, так и отрицательные последствия потепления для жизнедеятельности населения и инфраструктуры различных регионов России. При этом устойчивое развитие многих регионов России лимитируется неблагоприятными факторами природной среды. Такие регионы, согласно карте «Районирования территории Севера России по природно-климатическому фактору», занимают 68% территории страны [3, 4]. В основе районирования территории России по природным условиям жизни населения лежит географический подход, опирающийся на изучение особенностей современной ландшафтно-климатической обстановки.

В работе была использована карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения», на которой показано распределение интегральной балльной оценки степени природной дискомфортности для жизнедеятельности. Получение интегральной оценки природной дискомфортности в баллах состоит в вычислении в каждой точке градусной сетки среднего балла показателей зональных факторов с последующей их коррекцией при помощи азональных факторов. К зональным отнесены следующие факторы (показатели): астрономический (продолжительность дня и ночи); радиационный (ультрафиолетовая недостаточность-избыточность); холодовой (сумма отрицательных температур воздуха, продолжительность периода с температурой ниже –30°С, продолжительность отопительного периода); мерзлотный (мощность сезонно-талого слоя); тепловой (продолжительность безморозного периода, сумма температур за период с устойчивыми температурами выше +10°С); увлажненность территории (гидротермический коэффициент Селянинова); ветровой (индекс влажного ветрового охлаждения Хилла); изменчивость атмосферного давления (среднеквадратическое отклонение суточных величин давления). К азональным – горный (абсолютная высота местности); заболоченность (относительная заболоченность территорий); стихийные явления (сейсмичность, наводнения, тайфуны, цунами) [3]. Для Северных и Арктических регионов были выделены следующие зоны: I – абсолютно неблагоприятная; II – очень неблагоприятная; III – неблагоприятная; IV – условно неблагоприятная.

Карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» была создана для средних климатических условий (1961–1990 гг.). В настоящее время она адаптирована для периода 2001–2010 гг. и для модельных изменений климата в середине XXI века (2046–2055 гг.).

Для адаптации этой карты к современному климату применялись данные метеорологической сети [5]. В качестве исходных данных для оценки возможных

изменений условий жизни населения в середине XXI века использовались результаты численных экспериментов на глобальных климатических моделях Института вычислительной математики РАН (INMCM4) с разрешением 1.5° × 2° [6, 7], Метеорологический офиса Хэдли Центра HadGEM2-ES, имеющая приблизительное разрешение 2.5°(широта) × 2°(долгота), Института метеорологии им. Макса Планка MPI-ESM-LR с разрешением 2 × 2° [8]. Были использованы результаты расчетов по 2 сценариям, согласно которым радиационный форсинг от увеличения концентрации парниковых газов к 2100 году составит соответственно 8.5 и 4.5 Вт/м^2. Глобальное потепление по модельным расчетам к концу XXI века, составит 1.9° К для сценария RCP4.5 и 3.4° К для сценария RCP8.5.

Изменения площадей территорий с разной степенью дискомфортность жизнедеятельности населения в начале (2001–2010 гг.) и середине (2046–2055 гг.) XXI в. по сравнению с климатической нормой 1961–1990 гг. в Арктической зоне представлены в таблице. В результате потепления территории с абсолютно неблагоприятными условиями в Арктике сократились на 24%. На этих территориях условия стали очень неблагоприятные (10%), неблагоприятные (10%) и условно неблагоприятные условия (4%). Ослабление климатической дискомфортности характерно прежде всего для западной части Арктической зоны, прилегающей к Баренцеву морю, а также для южной части Ямало-Ненецкого автономного округа и Туруханского района Красноярского края. Климатическая дискомфортность ослабла также в южной части Чукотского автономного округа [9]. По данным моделей ожидаемое потепление в период 2046–2055 гг. («мягкий» антропогенный сценарий RCP4.5) будет сравнимо с потеплением для периода 2001–2010 гг., а более «жесткий» сценарий RCP 8,5 показывает наибольшее сокращение площади абсолютно неблагоприятных территорий на 35–60%, за счет расширения очень неблагоприятных и неблагоприятных территорий (более мягкие градации дискомфорта) (таблица). Модельное потепление может привести к значимому сокращению площадей территорий с наиболее дискомфортными условиями и заменой их менее дискомфортными. Но в отличии от современного потепления, в середине XXI века можно ожидать сокращение площади абсолютно неблагоприятных территорий на севере Красноярского края и небольшое расширение этих территорий (по сравнению с современным климатом) на севере Якутии и Чукотского АО.

Таблица. Площади зон дискомфортности в Арктической зоне Российской Федерации при современном модельном потеплении климата.

Периоды	Зоны дискомфортности			
	абсолютно неблагоприятная, %	очень неблаго-приятная, %	неблагоприят-ная, %	условно небла-гоприятная, %
1961–1990	65	24	7	4
2001–2010	41	34	17	8
модель INMCM4 2046–2055, сценарий RCP4,5	44	34	14	8
модель MRI 2046–2055, сценарий RCP4,5	30	53	10	6
модель HAD 2046–2055, сценарий RCP4,5	8	47	22	21

модель INMCM4 2046–2055, сценарий RCP8,5	30	42	19	9
модель MRI 2046–2055, сценарий RCP8,5	16	52	17	15
модель HAD 2046–2055, сценарий RCP8,5	5	46	17	29

В районах Крайнего Севера (без арктической зоны) площадь территорий с абсолютно неблагоприятными условиями к началу XXI века сократилась в 9 раз и в настоящее время она занимает всего 4% территории по сравнению с 33% в первый период. Одновременно увеличились в 1.2 и 1.6 раза, соответственно, площади очень неблагоприятных (38%) и неблагоприятных (40%) территорий. Также возросла в 1.8 раза площадь условно неблагоприятных территорий. Они составляют теперь 18%. Таким образом, наибольшее (29%) сокращение территории с абсолютно неблагоприятными условиями произошло в районах Крайнего Севера. Это произошло в основном за счет расширения очень неблагоприятных территорий (более мягкая градация дискомфорта). Южная граница неблагоприятных территорий сместилась к северу, особенно в Западной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. За счет этого расширилась условно неблагоприятная зона в Западной Сибири. При модельном потеплении климата по «жесткому» сценарию, в районах Крайнего Севера площадь абсолютно неблагоприятных территорий может сократиться на 26% по сравнению с периодом 1961–1990 гг. за счет расширения неблагоприятных и условно неблагоприятных территорий на 6% и 21%, соответственно. Но изменения площадей в 2045–2055 гг. по сравнению с периодом 2001–2010 гг. будут небольшими: сокращение на 6% и 9% очень неблагоприятных и неблагоприятных территорий при расширении территорий с абсолютно неблагоприятными условиями и относительно неблагоприятными условиями, соответственно на 3 и 13%.

Главными предпосылками произошедших изменений стало уменьшение суммы отрицательных температур по сравнению со среднемноголетними условиями и существенное сокращение числа дней с температурой воздуха ниже –30°С. Наибольшие изменения наблюдались в Восточной Сибири и на европейской территории. В меньшей степени изменилась продолжительность отопительного периода. Наблюдался рост суммы активных температур в северных регионах и значительное сокращение площади территорий, неблагоприятных по этому показателю. Изменения затронули Арктику, Дальний Восток и европейскую территорию России. Аналогичные изменения отмечались и для показателя продолжительность безморозного периода. Основные изменения также происходили в Арктике, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке [10].

Современное потепление климата 2001–2010 гг. привело к значительному ослаблению климатического дискомфорта Северных и Арктических территорий России. Оно выразилось в сокращении площадей с абсолютно неблагоприятными условиями и формированием на их месте условий с более слабой дискомфортностью. Изменение климата в основном связаны с уменьшением суммы отрицательных температур и числа дней с очень низкими температурами, а также с ростом суммы активных температур и увеличением безморозного периода. Последствия потепления для Северных и Арктических территорий Российской Федерации в начале XXI в. оказались сопоставимы с ожидаемыми изменениями, полученными по результатам

численных экспериментов на модели Института вычислительной математики РАН (INMCM4) и модели Метеорологического института им. Макса Планка MPI-ESM-LR для «мягкого» сценария RCP4.5. Максимальные изменения в Арктической зоне для середины XXI в. возможны по модели Метеорологического офиса Хэдли Центра HadGEM2-ES.

Литература

1. Report on climate features in the Russian Federation for 2014. Moscow: Rosgidromet, 2015. 107 p.
2. Arctic Report Cards 2019. 2019. Richter-Mange J., Druckenmiller, M.L., Jeffriers, M. (Eds.) 99 p. http://www.arctic.noaa.gov/Report-Card
3. *Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В.* Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012. 156 с.
4. Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н. Современные и ожидаемые изменения роли климатического фактора в оценке природных условий жизни населения в Российской Федерации // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 4. С. 16-21.
5. Электронный ресурс. Архив ВНИИГМИ-МЦД http://www.meteo.ru
6. Volodin E.M. Possible reasons for low climate-model sensitivity to increased carbon dioxide concentrations // Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics. 2014. V. 50. № 4. P. 350-355.
7. Volodin E.M., Dianskii N.A., Gusev A.V. Simulating present-day climate with the inmcm 4,0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations. // Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics. 2010. V. 46. № 4. P. 414-431.
8. Электронный ресурс ftp://ftp.ceda.ac.uk/badc/cmip5/data/cmip5/output1/
9. *Золотокрылин А.Н., Виноградова В.В., Соколов И.А.* Воздействие потепления на дискомфортность жизнедеятельности населения Арктической зоны Российской Федерации // Лед и снег. 2018. Т. 58. № 2, С. 243–254.
10. *Виноградова В.В.* Изменение суммарного балла дискомфортности природных условий жизни населения для современного климата и модельных прогнозов, на основании климатических факторов // Вестник Московского Университета. Серия 5. География. 2018. № 3. С. 30–39.

Исследования поддержаны грантом Российского научного фонда (РНФ) № 16-17-10236.

ПРИЛИВЫ В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ ВДОЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ АНТАРКТИДЫ

Войнов Г.Н.[1,2], Пискун А.А.[1]
[1]ГНЦ РФ Арктический и Антарктический научно–исследовательский институт, Санкт–Петербург, Россия
[2]ФГБУ Государственный океанографический институт, Санкт–Петербургское отделение, Россия

TIDES IN THE SOUTHERN OCEAN ACCORDING TO LEVEL OBSERVATIONS ALONG THE COAST OF ANTARCTIDA

Voinov G.N.[1,2], Piskun A.A.[1]
[1]–State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic research Institute, St. Petersburg, Russia
[2]–St–P. branch State Oceanographic Institute, St. Petersburg, Russia

Дана общая характеристика приливов в Южном океане по данным, в основном, береговых станций наблюдений за уровнем на побережье Антарктиды. Представлены карты изоамплитуд и изофаз волн M_2, S_2, K_1 и O_1. Рассмотрены возрасты суточного и полусуточного приливов, изменение вдоль побережья значения отношения, характеризующего фазовое и тропическое неравенство приливов. Исследована сезонная изменчивость основных волн прилива на станции Сёва, имеющей ряды многолетних наблюдений.

The general characteristics of tides in the Southern Ocean are considered based on data, mainly, of coastal level observation stations on the Antarctic coast. Co-tidal charts of tides M_2, S_2, K_1, и O_1 are presented. The age of diurnal and semidiurnal tides, the change along the coast of the value of the ratio characterizing the phase and tropical inequality of tides are considered. The seasonal variability of the main tidal waves at the Showa station, which has a series of long-term observations, was investigated.

В монографии [1] приведены сведения о численных решениях уравнений динамики приливов и эмпирических картах в Южном океане по состоянию проблемы на конец XX века.

В работе [2] на основе гармонических постоянных в 54 пунктах вдоль побережья Антарктиды и, в том числе, новых сведений о приливах в пунктах Мирный, Молодежная, Русская (Войнов и др., 1994, 1999; Войнов, Уранов, 1990) с использованием результатов численных решений интерполяционной модели Швидерского (здесь и далее МШ) [3] были представлены новые котидальные карты волн приливов M_2, S_2, K_1 и O_1. Результаты работы в виде карт [2] были использованы в Атласе океанов [4]. Константы приливов, полученные для внутренних локальных акваторий, например в [5], прямо не использовались в данной работе, но они имеют несомненный региональный интерес.

КОТИДАЛЬНЫЕ КАРТЫ ПРИЛИВОВ

Полусуточный прилив M_2. В дальнейшем изложении авторы следуют в основном содержанию работы [2]. Движение приливной волны в Южном океане определяется сложным взаимодействием собственных амфидромических систем (расположенных южнее 40° ю.ш.) и подобных систем, образующихся в смежных акваториях океанов за его пределами. В широтной зоне к югу от 40° ю. ш. формируется 6 амфидромий (табл. 1). Все они имеют вращение котидальных линий по часовой

стрелке, и, согласно терминологии МШ, определяются как связанные, т. е. входящие в смежную амфидромию.

По степени развития только амфидромия в Атлантическом секторе приближается к сильной системе и практически полностью определяет структуру прилива в этой акватории Южного океана. Приливная волна в Индийском секторе формируется под влиянием двух амфидромических систем. В Тихоокеанском секторе обнаруживается воздействие фиктивной Новозеландской амфидромии и сильной амфидромии вблизи южной границы Тихого океана. Сложная связанность амфидромических систем определяет неоднозначный характер и направление движения приливной волны M_2. В Тихоокеанском секторе обнаруживается аномальное движение приливной волны в направлении с запада на восток. Такое же движение наблюдается в широтной зоне 40–60° в Атлантическом и Индийском секторах Южного океана. Однако вдоль континента в указанных выше двух секторах приливная волна перемещается согласно классическим представлениям теории приливов, т. е. в направлении с востока на запад.

Таблица 1. Местоположение центров амфидромий прилива волн M_2, S_2, K_1 и O_1. По данным работы [2].

Сектор океана	M_2		S_2		K_1		O_1	
	Широта	Долгота	Широта	Долгота	Широта	Долгота	Широта	Долгота
Атлантический	41,0° 48,0° 62,0°	60,0° з 63,0° з 2,0° з	– 47,0° 59,0°	– 63,0° з 1,0° з	42,0°	61,0° з	41,0°	62,0° з
Индийский	64,0°	56,0° в	58,0°	60,0°в	50,0°	33,0° в	–	–
Тихоокеанский	43,0° 73,0°	106,0° з 137,0° з	43,0° 43,0°	148,0° в 178,0° в	48,0° –	172,0° з –	40,0° 44,0°	179,0°з 174,0° з

Как показывают обширные данные наблюдений, не вызывают сомнений наличие амфидромии на Патагонском шельфе. В известной мере подтверждаются фактическими данными амфидромии в Атлантическом и Индийском секторах, хотя их положение, по-видимому, будет уточняться по мере получения дополнительной информации о приливах в открытом океане. Наконец, больших изменений можно ожидать в распределении прилива в Тихоокеанском секторе.

Полусуточный прилив волны S_2. Котидальная карта прилива волны S_2 характеризуется сравнительно более простым распределением по отношению к приливу M_2 (см. табл. 1). Движение приливной волны определяется взаимодействием 5 амфидромических систем в зоне южнее 40° ю.ш. Две из них расположены в Атлантическом секторе, 1 – в Индийском секторе, а 2 – в Тихоокеанском секторе Южного океана. Все амфидромии имеют вращение изолиний фаз вокруг её центра по часовой стрелке. В целом амфидромии прилива S_2 по сравнению с приливом M_2 являются менее связанными системами. Основные различия карт приливов этих волн проявляются в отсутствии амфидромии в Тихоокеанском секторе у м.Беркс. Вдоль побережья континента волна прилива S_2 движется с востока на запад. Аномальное распространение волны с запада на восток наблюдается только в широтной зоне 40–46° Южного океана приближенно между меридианами 20° з.д. и 60° в.д.

Суточный прилив волны K_1. Структура прилива K_1 характеризуется наличием трёх амфидромий (см. табл. 1). Одна из них, расположенная на Патагонском шельфе, относится по степени развития к неполным и практически не влияет на распределение прилива в океане. Амфидромия, находящаяся в Индийском секторе, представляет тип сильной системы, влияние которой преобладает в Атлантическом и Индийском секторах Южного океана. К такому же типу относится амфидромия в районе,

прилегающем к о-вам Новая Зеландия, определяющая структуру приливов в Тихоокеанском секторе. Направление вращения изолиний фаз вокруг центра всех амфидромий происходит по часовой стрелке. Приливная волна K_1 имеет преобладающий поступательный характер движения практически во всей зоне Южного океана и распространяется с востока на запад. Надёжность положения всех амфидромий достаточно хорошо подтверждается данными анализа наблюдений.

Суточный прилив волны O_1. В Атлантическом и Индийском секторах Южного океана структура прилива O_1 видоизменяется по сравнению с приливом K_1 (см. табл. 1). Прежде всего это проявляется в смещении центра основной амфидромической системы в Индийском секторе к северу, за границу Южного океана, и в выходе с севера на юг к границе Южного океана амфидромии в Атлантическом секторе. В итоге последняя амфидромия становится определяющей в формировании прилива не только в Атлантическом, но и частично в Индийском секторах океана. В Тихоокеанском секторе наблюдается действие сложной связанной двойной амфидромической системы. В этой системе амфидромия, расположенная мористее от островов Новой Зеландии, имеет вращение изолиний фаз по часовой стрелке и почти полностью определяет движение приливной волны в этом секторе Южного океана. Вторая амфидромия, лежащая на шельфе, имеет вращение изолиний фаз также по часовой стрелке, и её воздействие проявляется в основном на приливы вблизи островов Новая Зеландия. Подобная двойная система амфидромий, несмотря на необычность построения, может быть вполне реальной. В целом повсеместно в Южном океане преобладает прогрессивный характер движения приливной волны. Подобно приливу K_1 амплитуда прилива O_1 значительно увеличивается по направлению к берегу вокруг всего континента.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРИЛИВОВ

Полусуточный прилив. В ходе значений амплитуд и фаз прилива M_2 наблюдается большая изменчивость: от 62 см у кромки шельфового льда в море Уэдделла до 1 см вблизи ст. Русская . Сильное гашение амплитуды наблюдается обычно в районах узловых зон и вблизи центров амфидромий, а также в районах антирезонанса и диссипации энергии прилива. К первым, то есть к узловым зонам, относятся прибрежный район в море Содружества и район ст. Русской. В указанных районах видно резкое уменьшение амплитуды прилива, составляющей 1–3 см.

На обширной акватории в Тихоокеанском секторе к югу от 65° ю.ш. вдоль Антарктического полуострова и до 130° з.д. происходит сильное ослабление амплитуды, но при этом обнаруживается аномальное увеличение фазы. Эту акваторию можно отнести к району диссипации энергии прилива.

Характер распределения значений амплитуд и фаз прилива S_2 в Атлантическом секторе до 60° з.д., в Индийском секторе и в Тихоокеанском секторе до 160° з.д. подобен соответствующему у прилива M_2.

В целом, приливная волна S_2 движется вокруг Антарктиды в направлении с востока на запад и фаза изменяется на три цикла по 360°. Фаза прилива M_2 совершает свыше двух циклов по 360° вдоль побережья, но в районе между 135° з.д. и 60° з.д. приливная волна распространяется в направлении с запада на восток.

Скорость свободной волны Кельвина составила по теории значение, равное 200 м/с. Фактическая скорость движения приливных волн M_2 и S_2 близка к скорости волны Кельвина только в Атлантическом секторе океана, где она равна соответственно 209 м/с и 175 м/с.

В Индийском и Тихоокеанском секторах наблюдается более значительное отклонение реальной скорости от скорости свободной волны. Это объясняется тем, что в полусуточных приливах присутствуют узловые зоны, где преобладает стоячий тип

колебаний. Поэтому средняя скорость движения полусуточных волн вокруг континента значительно меньше скорости волны Кельвина и составляет для волн M_2 и S_2 соответственно 158 м/с и 134 м/с. Общее время прохождения волнами всего океана для прилива M_2 (условно, суммарное) равно 30,6 часа, а для прилива S_2 достигает 36,0 часов.

Значения отношений амплитуд M_2/S_2 вокруг континента повсеместно меньше теоретического значения, равного 2,15. Имеются районы, где величина этого отношения меньше, чем 1,00, что означает необычное превышение амплитуды S_2 над амплитудой M_2.

В этих районах наблюдаются также необычно большие значения возраста полусуточного прилива, как положительные, так и отрицательные. Акватория с аномально большими значениями возраста занимает всю область от моря Росса до южного острова Новой Зеландии. Как правило, все районы с аномальными значениями возраста связаны с районами амфидромий, где структура приливов M_2 и S_2 сильно различается между собой. В Мировом океане локальные районы с возрастом прилива больше, чем 60 час объясняют существованием локального резонанса, явно или неявно вызванного топографическими чертами.

На обширной акватории Тихоокеанского сектора наблюдается сильное гашение амплитуды прилива M_2. Очевидно, что аномально большие значения возраста в этом районе связаны с диссипацией энергии прилива M_2, обусловленной шельфовыми льдами.

Возможное глобальное значение шельфовых льдов Антарктики в качестве стока приливной энергии рассматривалось в [6]. Здесь рассчитаны потери энергии, затрачиваемые на изгибание шельфовых льдов вдоль линии их соединения с грунтом. Оценка диссипации энергии приливов оказалась сравнимой с её величиной, теряемой на континентальных шельфах в Мировом океане ($2{,}0 \times 10^{12}$ W).

Суточный прилив. Пространственный ход значений амплитуд приливов K_1 и O_1 вокруг континента обнаруживает удивительное постоянство по величине и сходство в изменении обоих приливов. Наибольшие величины прилива K_1 наблюдаются у кромки шельфового льда в море Уэдделла, где амплитуда этого прилива достигает 38 см. Как правило, по величине амплитуда прилива K_1 очень близка к соответствующим значениям у прилива O_1.

В основном значение отношений амплитуд прилива K_1 к O_1 близко к 1,00, что меньше теоретического значения, равного 1,41. Это является косвенным подтверждением того, что суточный прилив O_1 вокруг Антарктиды ближе к резонансной частоте бассейна в сравнении с приливом K_1.

Изменение фаз приливов K_1 и O_1 вдоль континента показывает близкую к линейной зависимость фаз от долготы Приливные волны приливов K_1 и O_1 распространяются по акватории Южного океана со скоростью, близкой к скорости волны Кельвина и их фазы увеличиваются точно на 360°. Средние скорости движения волн приливов K_1 и O_1 составляют соответственно 202 м/с и 187 м/с, а время движения равно 23,93 и 25,82 ч. Скорость движения волн приливов K_1 и O_1 в Южном океане по данным наблюдений носит поступательный характер очень близкий к захваченной берегом (слева) волне Кельвина.

Прилив O_1 по [7] почти полностью определяется модой с периодом 28,7 часа. Эта мода является фундаментальной Антарктической волной Кельвина. В модели [8], предложенной для объяснения суточных приливов, также рассматривается суточный прилив в Южном океане. Здесь предположено, что период волны O_1 близок к естественному периоду колебаний Южного океана (30 ч), поэтому прилив O_1 превышает прилив K_1. В целом, суточный прилив рассматривался как захваченная

берегом волна Кельвина. Имеющиеся в настоящее время наблюдения на континенте не противоречат существующим теоретическим представлениям о структуре приливов Южного океана.

Сезонная изменчивость основных волн прилива. Результаты анализа всех имеющихся месячных серий на ст. Мирный и ст. Молодежная за весь период наблюдений не обнаруживают значимого сезонного хода амплитуд и фаз приливов M_2, S_2, K_1 и O_1. Аналогичный вывод получен для ст. Сёва по данным за период 1990–2001 гг.

Литература

1. *Марчук Г.И., Каган Б.А*. Динамика океанских приливов. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 472 с.
2. *Войнов Г.Н., Чугуй И.В*. Приливы в Южном океане // Арктика и Антарктика. 2002. вып. 1 (35). М., Наука. С. 150–171.
3. *Schwiderski E.W.* Ocean tides. A hydrodynamic interpolation model // Marine Geodezy. V. 3. 1980. c. 219–255.
4. *Войнов Г.Н., Чугуй И.В.* Гармонические постоянные главных составляющих волн прилива. Характер и наибольшая величина прилива // Атлас океанов. Антарктика. ГУНИО МО РФ, ГНЦ ААНИИ. 2005. С. 227.
5. *Пискун А.А.* Наблюдения за уровнем воды и таянием льда на озере Бивер // Информ. бюл. САЭ. 1990. №113. С. 55–64.
6. *Doake C.S.M.* Dissipation of tidal energy by Antarctic ice shelves // Nature. 1978. Vol. 275. № 5678. P. 304–305.
7. *Platzman G.W.* Normal modes of the world ocean. Part IV. Synthesis of diurnal and semidiurnal tides // J. Phys. Oceanogr. 1984. Vol. 14. № 10. P. 1532–1550.
8. *Gill A.E.* A simple model for showing effects of geometry on the ocean tides. Proc. R. Soc. London. 1979. A367. № 1731. P. 549–571.

АНТРОПОГЕННЫЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ МИАСС

Второва А.И. [1], Мякишева Н.В. [2], д-р г-ф. наук.
[1]Отдел водных ресурсов по Челябинской области Нижне-Обского бассейнового водного управления, Челябинск, Россия
[2] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

ANTHROPOGENIC AND CLIMATE CHANGES OF WATER RESOURCES IN THE MIASS RIVER BASIN.

Vtorova A.I. [1], Myakisheva N.V. [2], Dr.Sc.
[1]Department of water resources in the Chelyabinsk region of the lower Ob basin water management, Chelyabinsk, Russia
[2]Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Проведен вероятностный анализ межгодовой изменчивости зарегулированного слоя стока в бассейне р. Миасс с применением теории случайных процессов. Получены статистические характеристики многолетней изменчивости слоя стока, осредненных для бассейна р. Миасс. Оценена регулирующая способность водосбора и техногенных сооружений. Выполнен квантильный анализ многолетней изменчивости стока, температуры воздуха и осадков. Получены статистические характеристики изменчивости показателей климата.

A probabilistic analysis of the interannual variability of the regulated flow layer in the Miass river basin is performed using the theory of random processes. The results of the analysis are summarized in terms of a probabilistic model. The regulative ability of the catchment and man-made structures is estimated. A quantile analysis of the long-term variability of flow, air temperature, and precipitation is performed. Statistical characteristics of climate indicators variability are received.

Введение

В условиях развития экономики и роста городов в современной России изменение режима водных объектов очевидно. Также наблюдается изменение климатических условий – факторов формирования гидрологического режима. Выявление его особенностей с учетом изменений климата и определение характерных отличий, возникших при антропогенном вмешательстве в данных условиях особенно актуально.

Бассейн р. Миасс расположен почти в центре огромного материка Евразии на большом удалении от морей и океанов, что обуславливает значительную континентальность климата, характеризующегося продолжительной холодной зимой, теплым летом и короткими переходными сезонами.

Река Миасс берет начало из ключа на восточном склоне хребта Нурали Уральских гор, в 11км к западу от с. Орловки Учалинского района республики Башкортостан и впадает в реку Исеть с правого берега на 218 км от ее устья. Площадь водосбора 21800 км^2 в том числе бессточная часть –2700 км^2, средняя высота водосбора – 190 м. Длина реки 658 км, общее падение 508 м, средний уклон 0,8%.

Для водосбора характерны бессточные понижения, обычно занятые озерами, сообщающимися с рекой в многоводные годы.

Верхняя часть бассейна р. Миасс расположена на восточном склоне Южного Урала, средняя и нижняя части – в пределах Зауральского плато и Предтургайской равнины. Переход от горной к низменной части происходит резкими уступами.

Режим реки Миасс изучался на восемнадцати гидропостах Росгидромета. В настоящее время действует два гидропоста. Река протекает по территории трех субъектов РФ: республика Башкортостан, Челябинская и Курганская области.

Река является основным источником водоснабжения объектов экономики, и прежде всего безальтернативным источником поверхностных вод для Челябинского промузла.

В связи развитием на территории Челябинской области водоемких технологий экономики и как следствие увеличением потребления воды, естественный режим реки Миасс изменен под воздействием водохранилищ и прудов многолетнего и сезонного регулирования [8].

Материалы и методы

Речной сток рассматривался как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующих многолетним и внутригодовым колебаниям.

Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для всех месяцев года, которые рассматривались как случайные процессы. Привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта [7].

В работе использовались ряды среднемесячных и среднегодовых расходов воды по данным наблюдения на гидропостах Росгидромета: р. Миасс (с. Новоандреевка, с. Сосновка) за период с 1929 – 2019 гг. [1-5]. А также для анализа режима водохранилищ (Аргазинского и Щершневского) на р. Миасс использованы данные АИС ГМВО. Аргазинское водохранилище введено в эксплуатацию с 1929 г., с объемом при нормальном подпорном уровне ($W_{НПУ}$ –966,1 млн.м^3) и расположено на 511 км от устья р. Миасс. Шершневское водохранилище введено в эксплуатацию с 1969 г., с объемом при нормальном подпорном уровне ($W_{НПУ}$ –176,0 млн.м^3) и расположено на 364 км от устья реки Миасс

Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и температуре воздуха по наблюдениям на метеостанциях г Миасс, г. Челябинск с 1897 по 2018 г.

База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательств Гидрометеоиздат, «НЕДРА» и информационного ресурса meteo.ru.

Многолетние колебания водности реки

Сочетание естественных и антропогенных факторов формирует специфический режим реки. Временной ход слоя стока р.Миасс–с.Новоандреевка за период после строительства каскада водохранилищ многолетнего регулирования: Аргазинского и Шершневского на р.Миасс практически повторяет все особенности временного ряда сумм осадков, как по долгопериодной изменчивости, так и по чередованию выделенных циклов. По данным среднегодовых значений имеются согласованные тренды на понижение слоя стока и годовых сумм осадков. Тренд температуры воздуха на повышение имеет обратный тренду слоя стока ход, что логично: чем выше температура, тем больше испарение и меньше доля стока. Тренд снижения стока главным образом сформирован в рядах ежегодных данных за март и июль.

При анализе расходов воды в пункте с. Сосновка перед Шершневским водохранилищем наблюдается значимый тренд на снижение стока. При детальном анализе выявлено, что тенденция снижения стока от года к году наблюдается в период с мая по сентябрь. Однако квазициклы в расходах воды в пункте после водохранилищ согласуются с квазициклами атмосферных осадков и расходов естественных притоков.

Их продолжительность составляет 10-12 лет и они проявляются как периоды локальной нестационарности - повышения и понижения расходов воды в течение 5-6 лет и обусловлен он колебаниями сумм осадков. Для температуры воздуха теплого и холодного периодов характерен тренд на повышение (рис.1).

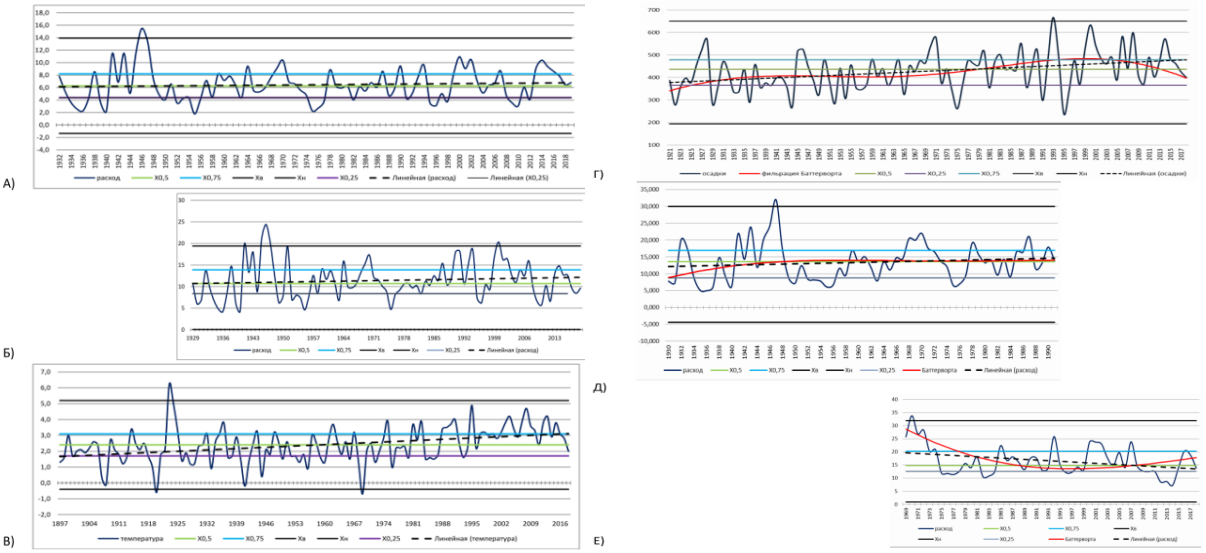
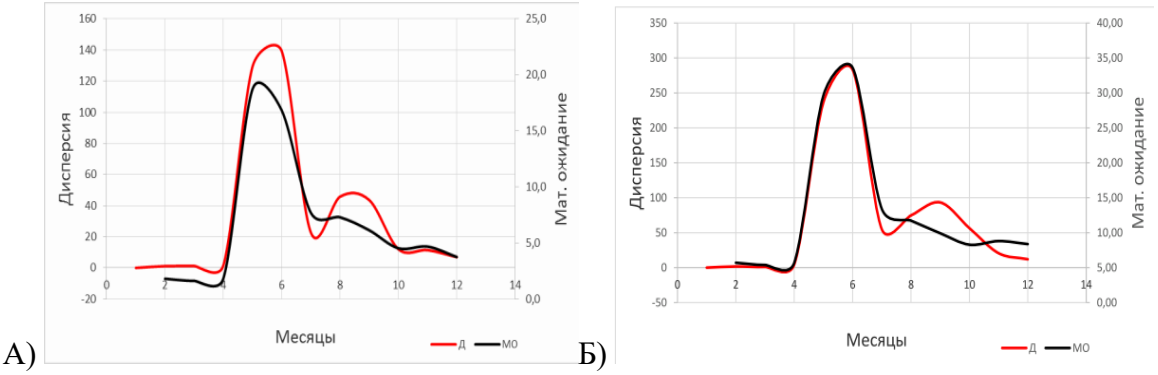
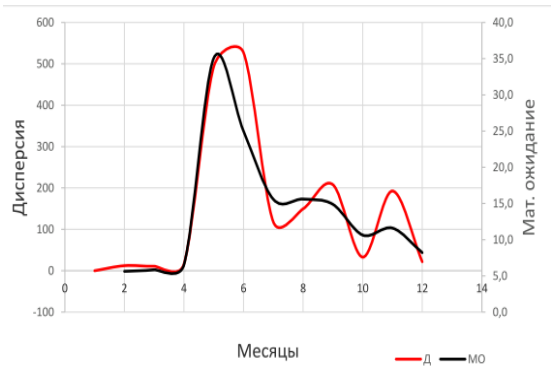


Рис. 1 Реализации гидрометеорологических характеристик: А) Среднегодовой расход воды р. Миасс – с. Новоандреевка, Б) Среднегодовые расходы воды р. Миасс – створ Аргазинского водохранилища В) Среднегодовые температуры воздуха МС Челябинск, Г) Суммы осадков за год МС Челябинск, Д) р. Миасс – с. Сосновка, Е) р. Миасс-створ Шершневского водохранилища.

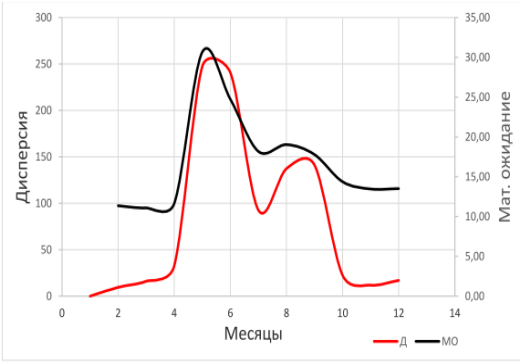
Внутригодовые колебания речного стока

Набор основных фаз водного режима и время их наступления отражают свойства реки восточно-европейского типа в соответствии с классификацией Б.Д. Зайкова. Графики оценок вероятностных характеристик ПКСП (математического ожидания и дисперсии) внутригодового стока рассматриваемой реки представлены на рис.2.





В)



Г)

Рис. 2. Графики оценок математического ожидания и дисперсии внутригодового стока р.Миасс. А) п. Новоандреевка, Б) створ Аргазинского водохранилища, В) с. Сосновка, Г) створ Шершневского водохранилища.

Обобщение результатов анализа временной изменчивости речного стока в терминах вероятностной модели вида

$$\boldsymbol{\beta}_{1t} = \varphi_{i,1}\boldsymbol{\beta}_{i,\,t-1} + \varphi_{i,\,2}\boldsymbol{\beta}_{i+1,\,t-1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{it} + \mathbf{m}_i,\ i=1,\ \ldots,\ 12,\ t=1,\ 2,\ \ldots\ N, \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{\beta}_t = \{\beta_{1,\,t},\ \ldots,\ \beta_{12,\,t}\}$; $\boldsymbol{\varphi\beta}_{t-1} = \{\varphi_i\beta_{i,t-1},\ \ldots,\ \varphi_{12}\beta_{12,\,t-1}\}$;

$\boldsymbol{\varepsilon}_t = \{\varepsilon_{1,}\,t,\ \ldots\ \varepsilon_{12,\,t}\}$ – вектор белого шума с нулевым средним и дисперсией $\delta^2 = \{\delta^2_1,\ \ldots,\ \delta^2_{12}\}$;

$\mathbf{m} = \{m_1,\ \ldots,\ m_{12}\}$ – вектор математического ожидания;

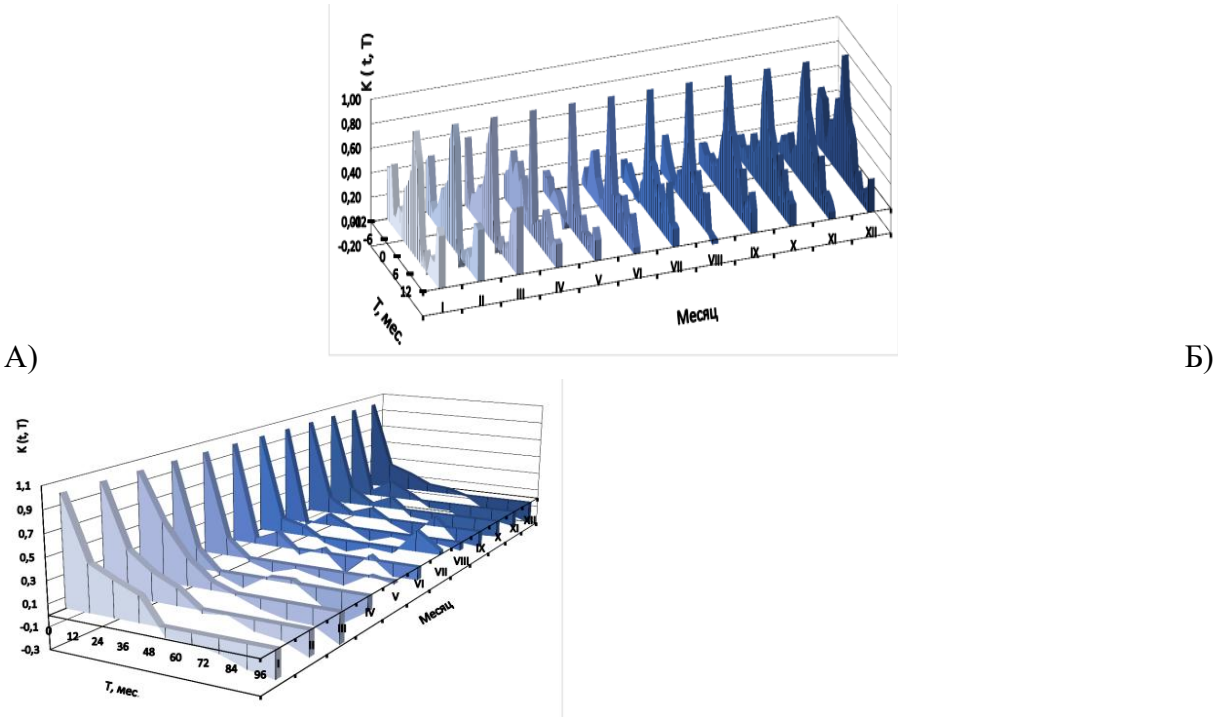
$\varphi_1,\ \ldots,\ \varphi_{12}$ – параметры модели,

позволило детализировать особенности зарегулированности стока для отдельных месяцев года. Параметры φ_{i1} определяются через компоненты матрицы внутригодовой изменчивости, а параметры φ_{i2} – через компоненты матрицы межгодовой изменчивости и характеризуют трансформацию стока в зависимости как от антропогенных, так и естественных факторов (рис.3).

Таблица 1. Численные значения оценок математического ожидания расходов воды m(t), дисперсии D(t), параметров авторегрессии φ1 внутригодового и φ2 многолетнего хода стока

Характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Миасс – с. Новоандреевка												
m(t), м^3/с	1,8	1,6	1,8	18,7	16,8	7,7	7,3	6,1	4,5	4,7	3,7	2,3
D(t), (м^3/с)^2	1,1	1,2	1,6	129,5	139,3	22,6	45,8	43,5	12,0	11,4	6,9	1,3
φ_1	0,865	0,850	0,181	0,095	0,516	0,541	0,444	0,531	0,769	0,845	0,627	0,656
φ_2	0,428	0,422	0,551	0,192	0,167	0,052	0,146	-0,035	0,169	0,179	0,057	0,274
р. Миасс – створ Аргазинского водохранилища												
m(t), м^3/с	5,702	5,384	5,696	29,662	33,607	13,403	11,724	9,919	8,281	8,807	8,371	6,298
D(t), (м^3/с)^2	1,717	1,080	4,388	236,46	282,99	54,875	74,814	93,320	56,559	20,69	11,99	2,440
φ_1	0,699	0,224	0,370	0,261	0,252	0,449	0,711	0,671	0,653	0,775	0,643	0,685
φ_2	0,374	0,254	-0,035	0,109	0,188	-0,159	-0,034	0,159	0,276	0,320	0,091	0,185
Осадки МС Миасс												
m(t), м^3/с	15,8	12,4	15,6	24,8	42,4	59,6	85,7	60,8	38,1	31,4	23,6	17,9
D(t), (м^3/с)^2	146	91,2	178	323	630	1092	2095	1453	546	460	188	125
φ_1	0,09	-0,11	0,08	-0,01	0,10	0,11	0,09	0,03	0,02	0,14	0,04	0,03
φ_2	-0,01	-0,08	0,22	-0,12	-0,08	0,05	-0,03	0,02	0,00	-0,02	-0,16	-0,07
р. Миасс – с. Сосновка												
m(t), м^3/с	5,6	5,8	6,5	35,1	25,0	15,6	15,6	14,9	10,6	11,6	8,2	5,9
D(t), (м^3/с)^2	12,2	10,9	16,3	493,1	526,9	117,9	149,6	208,0	32,8	192,7	21,7	11,2
φ_1	0,854	0,841	0,323	0,286	0,556	0,456	0,719	0,659	0,199	0,425	0,730	0,863
φ_2	0,457	0,356	0,332	0,309	0,296	0,125	0,208	0,011	0,131	0,011	0,290	0,420
р. Миасс – створ Шершневского водохранилища												
m(t), м^3/с	11,36	11,08	11,64	30,66	24,74	18,18	19,04	17,78	14,37	13,46	13,51	13,42
D(t), (м^3/с)^2	9,50	16,07	32,65	247,25	240,63	92,58	137,26	141,12	22,40	11,82	16,94	27,71
φ_1	0,776	0,833	0,603	0,517	0,676	0,633	0,670	0,726	0,598	0,495	0,134	0,089

φ_2	0,256	0,131	0,004	0,243	0,144	0,240	0,586	0,396	0,301	0,226	0,237	0,345
Осадки МС Челябинск												
m(t), $м^3/с$	16,7	14,8	16,8	24,6	40,6	57,9	80,5	58,3	36,7	35,3	24,7	22,1
D(t), $(м^3/с)^2$	132,7	114,3	155,3	325,6	680,8	851,2	1694,6	1327,4	500,5	527,7	210,4	158,3
φ_1	0,115	-0,114	0,255	-0,092	-0,070	0,142	0,000	0,003	0,073	-0,050	-0,050	-0,115
φ_2	0,047	-0,031	0,133	-0,007	0,242	-0,066	-0,075	0,069	-0,017	0,073	0,050	0,106



А) Б)

Рис. 3. Графики оценок корреляционных зависимостей А) внутригодовой и Б) межгодовой изменчивости стока р. Миасс – с. Новоандреевка

Сравнение параметров φ_{i1} для атмосферных осадков и расходов воды позволяет оценить регулирующую роль водосбора, обусловленную в период летней и зимней межени действием подземных вод, а также неоднородностью гидрогеологических условий бассейна пресечение Бишкильской и Карабашской водоностных зон, а также питания их подземными водами трещинных разломов.

Сопоставление результатов анализа речного стока в пунктах, находящихся в естественных условиях и подверженных влиянию техногенных сооружений (например, с. Новоандреевка – естественный режим, с. Сосновка - зарегулированный), позволяет оценить по разности параметров φ_{i1} регулирующую роль антропогенных факторов.

.

Выводы

1. Сочетание естественных и антропогенных факторов при формировании водного режима рассматриваемой реки проявляется по-разному. Так, тренды в изменении речного стока на гидропосту с.Новоандреевка в общем соответствуют изменениям климата в бассейне. На гидропосту Сосновка наблюдается согласованность циклов водности и осадков, но при этом прослеживается тренд на понижение стока, отсутствующий в осадках, что, по-видимому, свидетельствует об антропогенном воздействии.

2.Различия в условиях формирования стока очень заметно сказываются не только общеклиматическими условиями, но и особенностями гидрогеологии отдельных

водосборов притоков реки. Зимний сток меняется по территории от 7-9% до 2-4% годового объема.

3.Известная пестрота в изменении зимнего стока в пределах бассейна р. Миасс определяется не только общеклиматическими условиями, но и особенностями гидрогеологии отдельных водосборов. Повышенный зимний сток бассейна р. Миасс в значительной мере является следствием пересечения реками Бишкильской и Карабашской водоностных зон, а также питания их подземными водами трещинных разломов.

4.Также существенное влияние на внутригодовое распределение стока оказывают проточные озера.

Например, в бассейне р. Караси (приток р. Миасс) озерность – 17%, и наибольший коэффициент зарегулированности стока φ= 0,76. В меженный период наблюдается до 70% естественного стока.

В связи со значительным искусственным зарегулированием стока в бассейне р. Миасс, большие значения коэффициентов (φ) в бассейне р Миасс являются характерными для р. Миасс – с. Сосновка,φ=0,72.

5.Распределение месячного стока внутри сезонов относительно мало меняется по территории. Наибольший сток проходит в апреле-мае (50-85% от годового). Летне-осенняя межень прерывается осенними дождевыми паводками. Зимний сток уменьшается (1-4% от годового стока).

6. В настоящее время в бассейне р. Миасс в пределах Челябинской области наблюдается превышение расходной части водохозяйственного баланса над приходной в объеме 81120 тыс.м^3/год или 2,57 м^3/сек, или 31%.

Следовательно, при существующих условиях в бассейне р. Миасс дополнительные водные ресурсы для увеличения водоснабжения объектов экономики отсутствуют.

7. По результатам исследовательских работ, выполненных в разные годы «Союзводоканалпроект» (1967), «Водгео» (1974), «Южуралгипроводхоз» (1973), в качестве кардинального средства решения проблемы водоснабжения в бассейне р. Миасс следует признать переброску стока из соседних речных бассейнов Уфы, Туры, Тавды и Иртыша.

8. В декабре 2020 года завершается строительство Уфимско-Миасской водохозяйственной системы (УМВХС). Переброска стока из р. Уфа в р. Миасс позволит ликвидировать дефицит водных ресурсов в бассейне р. Миасс и в частности Челябинского промузла в маловодный период. Тракт переброски по УМВХС позволяет осуществить переброску стока в маловодный период из реки Уфа в реку Миасс от 4,0 до 8,0 м^3/с и ликвидировать дефицит водных ресурсов р. Миасс в год 95 % обеспеченности для бесперебойного водообеспечения объектов экономики.

Литература

1.Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 11, Средний Урал и Приуралье [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1973 – 848 с.

2.Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 11. Средний Урал и Приуралье, Выпуск 2, Тобол – Л.: Гидрометеоиздат, Л., 1967, 1975, 1980.

3.Министерство геологии СССР. Гидрогеология СССР, Том 14, Урал [Текст] – М.: Издательство «НЕДРА», 1972 – 648 с.

4.Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 11, РСФСР, Выпуск 2, Бассейн реки Тобол [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1988 – 706 с.

5.Гидрологический ежегодник. Средний Урал и Приуралье. Тобол Том 11. Выпуск 2, 1936-80 г.г.; Том 11 Выпуск 2, 1981-1999 г.г. Л., Свердловск, Обнинск.

6.Мякишева Н.В., Речной сток [Текст]// Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. – Т.III.Вып.1. – С.196-214

7.Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А. Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря [Текст]//Режимообразующие факторы,

гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – С.16-34

8.Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Ай//Естественные и технические науки, №2, 2018. - С.108-114

9.Мякишева Н.В., Второва А.И., Горбатенко А.А. Разномасштабная изменчивость водности рек России в современных условиях. I. Южный Урал. Река Юрюзань//Естественные и технические науки, №8, 2018. - С.102-108.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕК В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРАКТИКЕ РАСЧЕТОВ РЕЧНОГО СТОКА

Гавриков С. А.
АО «Дальневосточный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», г. Владивосток, Россия

CLASSIFICATION OF THE RIVERS IN HYDROLOGICAL RESEARCHES AND PRACTICE OF CALCULATIONS OF THE RIVER FLOW

Gavrikov S. A.
Joint-stock Company «Far Eastern Research Institute of Hydraulic Engineering and land Reclamation», avenue of the «Red banner», 66, Vladivostok, Russia

Для регионов с сильно изменяющимися по территории природно-климатическими условиями на примере юга Дальнего Востока России разработана классификация малых и средних рек по ландшафтно-морфометрическим признакам речного бассейна (три группы рек) и режиму стока в меженные периоды (восемь категорий рек). Классификация предназначена для территориальных гидрологических обобщений и практических расчетов годового стока, его внутригодового распределения и минимального летнего и зимнего стока при отсутствии и недостаточности данных гидрометрических наблюдений в заданном створе.

For regions with highly varying in territory natural and climatic conditions, on the example of the South of the Far East of Russia, a classification of small and medium-sized rivers was developed according to the landscape-morphometric signs of the river basin (three groups of rivers) and the flow regime at low water periods (eight categories of rivers). The classification is intended for territorial hydrological generalizations and practical calculations of annual runoff, its intra-annual distribution and minimum summer and winter runoff in the absence and insufficiency of hydrometric observations in a specified river alignment.

Введение. Для гидрологических исследований, а по их результатам – и для практики определения расчетных характеристик речного стока, формирующегося в сложных, сильноизменчивых по территории, природных условиях, таких, например, как на юге Дальнего Востока России (Средний и Нижний Амур, Приморье), использование классификации рек, имеет очень большое значение.

Классификация, как логическая форма типологии, заключается в распределении предметов или явлений какого-либо рода на взаимосвязанные классы по наиболее существенным признакам, общим для каждого класса и характеризующим внутреннюю общность предметов каждого класса и классов внутри данного множества так, что классы множества составляют систему. Каждый класс (или группа) в этой системе занимает определенное постоянное место и, в свою очередь, делится на подклассы (категории). Правильно составленная классификация, отображая закономерности развития классифицируемых объектов, глубоко вскрывает связи между изучаемыми объектами и этим помогает исследователю ориентироваться в самых сложных ситуациях, служит основой для обобщающих выводов и прогнозов [9].

Классификация рек как прием исследования и практических расчетов речного стока автором впервые была применена при разработке методики расчета внутригодового распределения стока применительно к водопотреблению на орошение при отсутствии и недостаточности данных гидрометрических наблюдений в заданном створе [2]. Тогда она потребовалась для составления районных типовых внутригодовых распределений стока по данным гидрологических постов с наиболее

длинными периодами гидрометрических наблюдений. В дальнейшем [4, 5, 7] классификация была дополнена, область ее применения расширена. Но в своей основе – по использованию для характеристики внутренней общности данного класса рек наиболее существенных признаков – она остаётся той же.

Предлагаемая классификация (таблица 1) представляет собой разделение рек по ландшафтно-морфометрическим признакам бассейна и режиму стока в меженные периоды как показателям однородности условий формирования стока. Рассматриваются только средние по величине и малые реки. Большие реки – с площадями водосбора более 5 000–10 000 км^2 (в зависимости от района) [3] – не рассматриваются: их режим полизональный (сложный, сформированный в природных условиях нескольких географических зон).

Таблица 1. **Классификация средних и малых рек по ландшафтно-морфометрическим признакам бассейна и режиму стока в меженные периоды**

Обозначение группы и категории рек в системе классификации	Название и признаки группы и категории рек
Г р у п п ы рек (различаются по ландшафтно-морфометрическим признакам бассейна)	
I	**Горные реки.** Средняя высота бассейна более 250–450 м (значение критерия увеличивается по мере общего повышения территории с увеличением удаленности района от океана). Лесистость бассейна более 60–70 %. Пояса темнохвойных и хвойно-широколиственных лесов. Преобладают участки течения с бурным движением воды в русле (перекаты, пороги), участков со спокойным ее движением (плесы) значительно меньше
II	**Полугорные реки.** Средняя высота бассейна до 250–450 м. Предгорья, низкогорные и лесистые холмисто-увалистые территории. Лесистость бассейна более 20–30 %. Пояса хвойно-широколиственных и широколиственных лесов. Участки течения с бурным движением воды в русле чередуются с участками спокойного ее движения
III	**Равнинные реки.** Безлесные и слабозалесенные равнинные и холмисто-увалистые территории. Лесистость бассейна до 20–30 %. Зона лесостепи. Спокойное движение воды в русле
К а т е г о р и и рек (различаются по режиму стока в меженные периоды)	
а	**Средние реки с зональным режимом стока.** Площадь бассейна от 100–300 до 5 000–10 000 км^2 (меньшие значения критической площади бассейна – для районов с более сложными природными условиями). Сток (годовой, меженный, минимальный) зональный – соответствует данной высотной зоне в данном районе
б	**Малые реки с зональным режимом стока.** Площадь бассейна до 100–300 км^2. Постоянные или пересыхающие (промерзающие) на отдельных участках в наиболее маловодные годы водотоки (речки, ручьи, ключи, лога)
в	**Малые реки на участках течения в конусе выноса.** Сток меньше зонального. Часть стока осуществляется подрусловым путем, в аллювии (валунно-галечном, галечно-гравийном, гравийно-песчаном). В маловодные годы в течение нескольких декад или месяцев в летне-осеннюю межень и ежегодно в течение нескольких месяцев зимой сток по руслу может отсутствовать
г	**Малые реки на участках течения по дну долины более крупной (главной) реки.** Сток больше зонального за счет дренирования аллювиальных вод главной речной долины
д	**Малые реки с устойчивым притоком подземных вод из смежного речного бассейна или их оттоком в смежный бассейн.** Сток соответственно больше или меньше зонального
е	**Реки области разгрузки в речную сеть напорных подземных вод.** Минимальный

	сток во много раз больше зональной его величины. Сток смежных лет корреляционно связан. По данным наблюдений, коэффициенты автокорреляции годового, минимального летнего и минимального зимнего стока достигают значений соответственно 0,70; 0,60 и 0,75 (южные подрайоны Амурско-Зейского плато и Зейско-Буреинской равнины, охватываемые Амурско-Зейским впадинным артезианским бассейном). Коррелированность стока смежных лет зависит от величины притока напорных подземных вод в реку
ж	**Реки карстовых областей.** Годовой и минимальный сток может быть больше или меньше зональной его величины (Южно-Хинганский бассейн трещинно-карстовых вод и другие районы)
и	**Озерные реки.** Сток зарегулирован в зависимости от относительного объема озера и относительной площади водосбора, замыкающейся на озеро

Материалы и методы. В качестве основных критериальных показателей при разработке классификации использовались:

1) графики интенсивности спада весеннего половодья и летней межени;

2) график связи показателя внутрисезонной неравномерности стока с площадью водосбора.

Примеры графиков первого вида и график второго вида приведены в работах автора [4, 5].

Оба вида этих графиков строились по характеристикам распределения стока по месяцам и декадам внутри сезона май–август. Именно эти характеристики исследовались автором [2] при разработке методики расчета внутригодового распределения стока применительно к водопотреблению на орошение в части установления расчетного распределения стока по месяцам и декадам внутри сезона май–август. Этот сезон является лимитирующим для водопотребления на орошение в южной части Дальнего Востока России. А разработанная автором методика расчета внутригодового распределения стока [2, 7] основана на совместном применении метода компоновки [1, 10, 11] и региональной типизации внутригодового распределения стока [8]. Интервал осреднения стока во времени внутри лимитирующего летнего сезона май–август – декада [2, 7].

Исследование выполнялось по данным 79 гидрологических постов (опорных пунктов гидрометрических наблюдений) на реках Приморья. Из них площади водосбора до 1,0; 1,1–10,0; 10,1–100; 101–300; 301–500; 501–1000; 1001–5000 и 5000–10000 км^2 замыкают соответственно 2, 1, 15, 11, 11, 17, 19 и 3 пункта. Выполнялись также полевые обследования малых, а в отдельных случаях и средних рек, по створам и характерным участкам.

По каждому опорному пункту наблюдений выделялась маловодная группа лет с типом А внутригодового распределения стока: выраженное весеннее половодье смешанного происхождения (талые и дождевые воды), летне-осенние дождевые паводки отсутствуют или незначительны.

Такой подход был принят главным образом в связи с тем, что при типе А внутригодового распределения стока распределение по декадам внутри мая–августа сравнительно упорядочено: происходит постепенное уменьшение стока весеннего половодья в течение мая и истощение меженного стока в июне–августе, лишь изредка прерываемое незначительными дождевыми паводками. По такому режиму стока легче судить о влиянии на сток различных факторов и выполнять территориальные обобщения, чем по паводочному его режиму (по остальным трём типам внутригодового распределения стока рек региона).

Для каждого опорного пункта наблюдений получен ряд декадных величин стока, ранжированных внутри мая–августа и осредненных по маловодной группе лет с типом А внутригодового распределения стока. Графически такой ряд представляется в виде кривой зависимости величины декадного стока от её места (ранга) в ряду [5]. Кривая характеризует интенсивность спада весеннего половодья и последующего истощения стока данного водотока в летнюю межень, не прерываемую значительными дождевыми паводками в маловодные годы. Такие осредненные кривые зависимости ранжированных декадных величин стока от их места (ранга) в вариационном ряду далее по тексту для краткости называются кривыми ранжированных величин декадного стока. Для малых рек они свидетельствуют об их значительно меньшей, чем для более крупных рек естественной зарегулированности стока: декадный сток, начиная с первой декады мая, интенсивно уменьшается и уже в июне составляет небольшую долю в стоке сезона.

Поэтому предварительно оценивалась неравномерность стока внутри сезона май–август при типе А внутригодового распределения стока. В качестве показателя этой неравномерности использовано отношение максимального месячного стока к минимальному месячному внутри мая–августа как среднее для маловодной группы лет с типом А внутригодового распределения стока. Это отношение названо показателем внутрисезонной неравномерности стока.

Результаты и обсуждение. Итоговый вариант классификации рек (см. таблицу 1) составлялся с помощью сравнения кривых ранжированных величин декадного стока. Для каждой выделенной группы рек (горные, полугорные, равнинные) кривые имеют примерно одинаковую крутизну и примерно одинаковый вид в своей нижней части по категориям рек. Для горных средних рек (категория «а») они пологие; для горных малых непересыхающих рек (категория «б») – заметно круче, а для горных малых пересыхающих рек (категория «в») – еще круче и заканчиваются нулевым значением ординаты. Для полугорных рек кривые круче, чем для рек горных и примерно одинаковы по форме для средних и малых рек (для пересыхающих малых рек они заканчиваются нулевым значением ординаты). Для равнинных рек кривые примерно также круты, как и для рек полугорных, но в своей нижней части они положе, чем для полугорных рек; при этом наиболее пологи кривые для малых рек.

Сравнительный анализ данных гидрологических постов по годовому и минимальному стоку разных по величине рек и результаты полевых обследований малых рек с гидрометрическими съемками их участков показывают, что сток малых рек, как правило, зональный. Он соответствует высотному положению речного бассейна в данном физико-географическом районе [2, 7].

Но выявлены и категории малых рек, сток которых на данном участке может значительно отличаться от зональной его величины в данном районе [2, 7].

Малая река на участке течения в конусе выноса (обычно при выходе на дно долины более крупной, главной, реки) имеет сток, меньший зонального, вследствие осуществления части стока воды на данном участке подземным путем, в аллювии. В зависимости от размера реки и мощности конуса выноса, сток ее по руслу на этом участке в межень может отсутствовать вовсе, в то время как на выше- и нижерасположенных участках река течет.

Малая река на участке течения по дну долины более крупной, главной, реки может иметь сток намного больший зональной величины за счет дренирования аллювиальных вод главной долины. Вследствие азонально повышенного стока в межень, внутригодовое распределение стока такой реки по сравнению с зональным

его распределением в разной степени выровненное в зависимости от степени дренирования аллювиальных вод главной долины.

Первая из таких категорий рек относится к рассмотренной выше категории «в» (пересыхающие малые реки), а вторая – к категории «г».

К категории «д» отнесены реки с устойчивым притоком подземных вод из смежного речного бассейна, или их оттоком в смежный бассейн. Сток их соответственно больше или меньше зональной его величины в данном районе. Площадь бассейна реки категории «д» может намного превышать упомянутое выше критериальное значение площади водосбора для малой реки до 100–300 км^2.

К категории «е» отнесены реки области разгрузки в речную сеть напорных подземных вод. К таким областям на юге Дальнего Востока относятся южные подрайоны Амурско-Зейского плато и Зейско-Буреинской равнины, охватываемые Амурско-Зейским впадинным артезианским бассейном. Возможно, есть и другие, менее обширные и гидрологически пока неизученные районы, реки которых имеют устойчивое питанием напорными подземными водами.

К отдельной категории, категории «ж», следует относить реки карстовых областей, поскольку их сток может значительно отличаться от зональной его величины (быть больше или меньше зонального стока) в данном районе под влиянием карста. На юге Дальнего Востока из карстовых областей наиболее известен Южно-Хинганский бассейн трещинно-карстовых вод. Влияние карста на сток рек этого района, а также рек в областях развития карста в других районах недостаточно изучено и является задачей специальных исследований.

Озерные реки выделены в категорию «и». Реки этой категорий имеют внутригодовое распределение стока, выровненное в разной степени в зависимости от относительного объема озера (по отношению к объему речного стока) и замыкаемой им относительной площадей водосбора (по отношению к общей площади водосбора реки в заданном створе).

Выводы. Первоначально классификация предназначалась для составления типовых районных внутригодовых распределений стока и расчетов распределения стока внутри сезонов по месяцам или декадам при расчетах внутригодового распределения стока при отсутствии или недостаточности данных наблюдений в заданном створе. Дальнейшие исследования автора [4, 6, 7] показали, что этой классификацией можно руководствоваться в исследованиях и расчетах не только внутригодового распределения стока, но и в исследованиях и расчетах:

а) годового стока – при выборе гидрологически изученной реки-аналога;

б) минимального летнего и минимального зимнего стока – при выборе гидрологически изученной реки-аналога и при определении переходных коэффициентов от стока, минимального за опорный 30-суточный интервал времени, к стоку, минимальному за другие интервалы времени;

в) годового стока, внутригодового распределения стока, минимального летнего и минимального зимнего стока – при выборе опорного гидрологического поста с достаточно продолжительным периодом гидрометрических наблюдений для выполнения гидрометрической съемки в целях выявления и учета возможного влияния на сток реки на данном ее участке местных природных условий или антропогенных факторов;

г) годового, минимального летнего, минимального зимнего и максимального стока – при определении коэффициентов асимметрии и автокорреляции этих характеристик, как при отсутствии, так и при наличии данных гидрометрических наблюдений в заданном створе.

Принципы, положенные в основу построения предлагаемой классификации, могут быть положены в той или иной мере и в основу разработок подобных классификаций для других районов земной суши с сильноизменчивыми по территории природными условиями.

Литература

1. Андреянов В. Г. Внутригодовое распределение речного стока. – Л.: Гидрометеоиздат, 1960. – 327 с.
2. Гавриков С. А. Исследование и расчет внутригодового распределения стока рек юга Дальнего Востока применительно к ирригационному водопотреблению: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1981. – 16 с.
3. Гавриков С. А. Определение критической площади водосбора по характеристикам паводочного режима рек бассейна Амура // Вопросы совершенствования мелиоративных систем Дальнего Востока / ДальНИИГиМ: Сб. науч. трудов. – М.: ВНИИГиМ, 1980. Вып. 5. С. 97–104.
4. Гавриков С. А. Классификация рек по ландшафтно-морфометрическим признакам бассейна и режиму стока в меженные периоды // Ландшафтно-гидрологический анализ территории / Под ред. А. Н. Антипова и Л. М. Корытного. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 124–129.
5. Гавриков С. А. Классификация рек в исследовании и расчетах речного стока // Проблемы мелиорации и водного хозяйства на Дальнем Востоке России: Сб. науч. тр. ДальНИИГиМ. – Владивосток, 2004. Вып. 15. С. 211–220.
6. Гавриков С. А. Районирование сложных по природным условиям территорий для определения коэффициентов асимметрии и автокорреляции характеристик речного стока // Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока. Труды Всерос. науч. конф. 10–12 апр. 2012 г., ИВП РАН, Москва. – М.: Изд. ИВП РАН, 2012. С 44–49.
7. Гавриков С. А. Научные инженерно-гидрологические основы использования речного стока и защиты от наводнений на юге Дальнего Востока России // Проблемы мелиорации и водного хозяйства на Дальнем Востоке России: Сб. науч. тр. ДальНИИГиМ. – Владивосток: Дальнаука, 2017. Вып. 19. С. 47–79.
8. Гарцман И. Н. О внутригодовом распределении стока рек бассейна Амура // Сб. науч. работ ДВНИИС. 1963. Вып. 5. С. 139–150.
9. Кондаков Н. И. Логический словарь-справочник. – 2-е изд. – М.: Наука, 1975. – 720 с.
10. Рекомендации по расчетам внутригодового распределения стока при строительном проектировании / Сост. В. Г. Андреянов, Н. Я. Глущенко; ред. К. П. Воскресенский. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 71 с.
11. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. – М., 2004. – 72 с.

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ [1]

Гагулина Н.Л., Гагулина А.С.
Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербург,
Россия Университет ИТМО

CLIMATE CHANGES AND QUALITY OF LIFE

Gagulina Natalya L., Gagulina Alina S.
Institute for Regional Economic Studies RAS, St.Petersburg, Russian Federation
ITMO University

Глобальный масштаб изменения климата обостряет проблемы качества жизни практически во всех странах мира, что позволяет рассматривать его как глобальную угрозу не только экономическому развитию, но и всей человеческой цивилизации. В статье проанализированы глобальные проблемы в контексте глобальных вызовов, предложен новый подход к их решению.

Global scale of climate change exacerbates the problems of quality of life almost in all countries of the world. That process makes possible to consider climate change as not only like a global threat to economic development, but to entire human civilization. The article analyzes global problems in the context of global challenges and offers a new approach to their solution.

Осмысление глобальных проблем начала третьего тысячелетия побуждает нас по-новому подойти к оценке развития современной цивилизации. Более трех столетий развитие ведущих стран мира основывается на парадигме, согласно которой реализация творческих возможностей человека происходит посредством преобразования мира и природы, а затем и общества. Непрерывный рост производства и улучшение качества жизни людей, обеспеченные современной парадигмой развития, основаны на идеях прогресса, демократии, свободы и личной инициативы. Обратной стороной медали является обострение ключевых противоречий, порожденных действующей парадигмой экономического развития: между богатством и бедностью, либеральными общественными практиками и государственными гарантиями, экономическим ростом и ресурсными возможностями природы. Отмеченное противоречие составляет угрозу повышения качества жизни населения не только в настоящее время, но и в длительной перспективе.

Особое место среди проблем, требующих не просто пристального внимания, а новейших подходов к их решению, занимают глобальные вызовы, такие как глобальное изменение климата и глобальная цифровизация. Результатом влияния таких известных факторов формирования культурного пространства на рубеже XX-XXI вв., как глобализация, либерализация и информатизация, стало укоренение и распространение в глобальном масштабе модели общества потребления, замкнутой на потреблении как на образе жизни. В значительной мере этому способствовали возможности для стандартизации образа жизни, сознания и поведения людей, образования, в повышении роли наднациональных структур и транснациональных корпораций, которые открыла глобализация.

[1]

Экономика общества потребления опирается на принцип индивидуального потребления, поддерживаемый системой установок и ценностей, зачастую игнорирующих законы нравственности. Быстро развивающаяся, динамичная и агрессивная экономика с ее инновационными ориентирами и ярко выраженным индивидуализмом свободной личности, с деятельностным преобразовательным вектором по отношению к природному и социальному миру оказала огромное влияние на всю общественную структуру, начиная с форм поведения человека и социального общения и заканчивая рационализацией мышления в целом.

В экономике потребления не поощряются пассивность и экономность, т.к. они сопровождаются утратой потребительской способности. Экономический выбор, основанный на реальных потребностях человека, замещается выбором, продиктованным структурой общества потребления и соответствующими абстрактными ценностями, плохо согласованными с ключевыми критериями качества жизни. Результат глобального масштаба: перепроизводство и избыточное потребление, накопление отходов производства и потребления, антропогенное загрязнение атмосферы и водных ресурсов, энергетические перегрузки и т.п. Мировое научное сообщество перечисленные факторы относит к факторам изменения климата глобального масштаба [1].

Порожденные глобализацией процессы тесно связаны с ужесточением конкурентной борьбы на мировом рынке за контроль над природными ресурсами и информационным пространством посредством использования новейших технологий. В рыночные отношения включаются природные ресурсы, ранее находящиеся за пределами конкурентной борьбы [2]. Игнорируются проблемы сохранения природной среды и экологии, связанные с деградацией, а порой и разрушением среды жизнедеятельности человека. Социальные связи и отношения все чаще попадают в сферу частных интересов. Нивелируются общечеловеческие ценности, создающие основу нравственности, гуманности и социальной справедливости. Приток дешевой рабочей силы на рынок труда благополучных стран осложняет межэтнические отношения [3,4].

Под действием психологического шока глобализационных процессов происходит обострение кризисных ситуаций в экономической, финансовой, социально-политической, экологической и социально-духовной сферах жизни современного общества. Более того, достижение лучшего качества жизни в пределах принятой парадигмы экономического развития представляется затруднительным в связи с проблемой доминирования интересов субъектов, чьими источниками дохода выступают невозобновляемые ресурсы, вредные производства и устаревшие технологии. Они не просто стоят на пути прогресса, но и способствуют возникновению таких социальных рисков, как потеря рабочих мест, сокращение инвестиционных программ, снижение налоговых отчислений бюджетам различного уровня и т.д. Особого внимания при этом заслуживают проблемы и вызовы, актуальные для всех стран мира.

Понимая под глобальными проблемами совокупность социальных, природно-ресурсных и социокультурных проблем, от отношения к которым зависит прогрессивное развитие и сохранение цивилизации и которые требуют для своего разрешения объединенных усилий всего человечества, сгруппируем их (рисунок 1). В числе проблем гуманитарного характера подразумеваются проблемы ликвидации нищеты, эксплуатации и других форм социального неравенства, проблемы образования, здравоохранения, планирования и регулирования уровня и качества жизни.

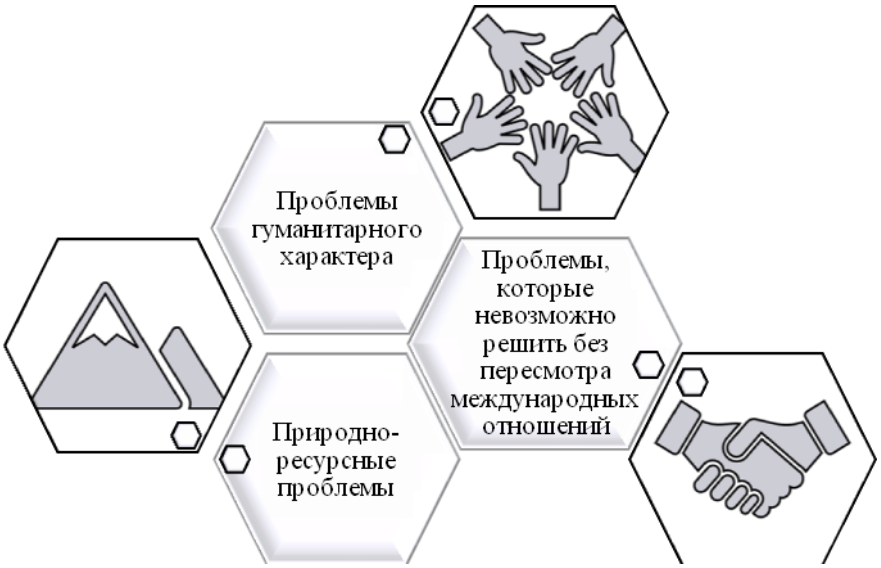


Рис.1. Глобальные проблемы в контексте глобальных вызовов

Проблемы, которые невозможно решить без пересмотра международных отношений, своим происхождением обязаны утрате функционала некоторыми нормами международного права, международными организациями. Например, США отказались от ратификации Договора СНВ-2 и нью-йоркских договоренностей, 13 июня 2002 года США вышли из Договора по ПРО, "в результате чего этот международно-правовой акт, служивший в течение трех десятилетий краеугольным камнем стратегической стабильности, утратил силу", - было отмечено в заявлении МИД РФ [5].

Природно-ресурсные проблемы включают широкий круг проблем, причиной которых стала не только объективная ограниченность природно-ресурсного потенциала планеты, но и угрожающе высокие темпы его использования. Пристальный анализ глобальных проблем позволяет выделить из их числа проблемы, поиск решения которых происходит уже более полувека:

 Климатические, экологические и биологические аспекты проблемы выживаемости человечества.

 Проблема сохранения целостности личности в условиях распада традиционных структур трансляции из поколения в поколение таких вечных общемировых ценностей, как ценность труда, живой контроль общества за нравственным поведением и т.п. Включенность человека одновременно во многие системы социальных отношений приводит к расщеплению личности и стрессу.

 Проблема коммуникативного единства человечества и необходимость решения конфликтов без применения силы и политики двойных стандартов.

Обострение существующих или появление новых глобальных проблем в связи со сбоями, которые дает принятая за основу парадигма экономического развития, продуцирует глобальные вызовы. Перечислим здесь лишь некоторые вызовы, которые являются следствием появления новых факторов в мировом развитии, нарушающих стабильность нормального функционирования механизмов воспроизводства, межкультурных отношений и т.д., и потому наиболее явно влияющие на качество жизни:

- ускорение исторического времени;
- нарастающий глобальный демографический дисбаланс;
- проблема нехватки продовольствия и пресной воды в мире;
- кризис ценностей;

– новая технологическая реальность и т.д.

Ускорение исторического времени связано с постоянным сокращением жизненных циклов товаров и услуг, непрерывной и быстрой сменой новых приемов труда и технологий в условиях ускорения сроков реализации научных открытий. Адаптация людей к изменениям технологической, социальной, культурной среды становится все более сложной: не успев до конца осознать преимущества перемен, воспользоваться ими, люди сталкиваются с новыми, все более технически сложными аспектами бытия.

Глобальный демографический дисбаланс проявляется в изменении структуры населения, снижении рождаемости, убыли коренного населения в развитых странах. Происходит общее старение населения Земли, миграционные волны наряду со всем прочим усиливают нестабильность экономики.

Проблема нехватки продовольствия и пресной воды в мире обусловлена не просто фактом ограниченности природных ресурсов, но и их нерациональным использованием [6].

В конечном итоге, экономическое неравенство, неравномерность распределения продовольствия в мире и климатические изменения привели к тому, что более 1 млрд чел в слаборазвитых странах недоедает, а от 500 млн чел до 1 млрд чел голодают. Кризис ценностей, спровоцированный преобладанием принципов глобального эволюционизма в парадигме развития, ставит под угрозу все дальнейшее развитие человечества.

Проблемы и вызовы, связанные с новой технологической реальностью, включают в себя ускоренную виртуализацию экономики, стихийное сокращение рабочих мест на рынке труда и исчезновение распространенных и востребованных до недавнего времени профессий, компьютеризацию процесса принятия решений на разных уровнях, постепенное снижение способности индивидов к принятию решений и многое другое.

Глобальные действия в ответ на глобальные вызовы предусмотрены практически во всех сферах человеческой жизни, которые принято связывать с благосостоянием и благополучием людей. Перечень глобальных действий имеет более чем полувековую историю и включает в себя конференцию ООН «Человек и окружающая среда» (1972 г.), Всемирную стратегию охраны природы (1980 г.), работу Международной комиссии по охране окружающей среды и развитию (1983 г.), Конференцию ООН по окружающей среде и развитию (КОСР-92), Саммит Земли +5, Декларацию тысячелетия – 2000, Саммит Земли - 2002, РИО+20, Цели устойчивого развития (ЦУР), разработанные и принятые ООН на период до 2030 г. и ряд других, не менее важных мероприятий международного уровня.

Стоит отметить, что координация политики государств в области правового регулирования борьбы с изменением климата, информационного пространства, экологии, преступностью и других глобальных вызовов также способствует выработке и осуществлению глобальных действий в ответ на глобальные проблемы и вызовы. Обозначенные здесь глобальные проблемы и вызовы заставляют начать поиск новых приемлемых решений, способных обеспечить стабильное развитие и высокое качество жизни. На наш взгляд, основу научного поиска в заданном направлении составляет теоретико-методологическая база экономики качества [7].

Литература

1. Доклад о человеческом развитии в Российской Федерации за 2017год / под ред. С.Н. Бобылева и Л.М. Григорьева. – М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2017. – 292 с.
2. Peng MW. (2001) The resource-based view and international business. Journal of Management. 2001; 27(6):803-829.
3. Tharenou P, Kulik CT. (2020) Skilled Migrants Employed in Developed, Mature Economies: From Newcomers to Organizational Insiders. Journal of Management. 2020;46(6):1156-1181.

4. Simon Franklin and Julien Labonne (2019) Economic Shocks and Labor Market Flexibility J. Human Resources January 1, 2019 54:171-199; published ahead of print October 3, 2017, doi:10.3368/jhr.54.1.0616.8012R1
5. В МИД РФ отмечают "отсутствие каких-либо предпосылок" для вступления в силу Договора СНВ-2. Сетевое издание РИА Новости. Электронный ресурс URL: https://ria.ru/20020614/174212.html
6. Asaf Bernstein, Matthew T. Gustafson, Ryan Lewis, Disaster on the horizon: The price effect of sea level rise, Journal of Financial Economics, Volume 134, Issue 2, 2019, Pages 253-272, https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.03.013.
7. Okrepilov V., Chetyrkina N., Krylov M. The role of elements of the economics of quality in mathematical modelling of socio-economic processes. E3S Web of Conferences. International Scientific Conference "Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development", CATPID 2019. 2019. С. 02008.

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД ДЛЯ ЦЕЛЕЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Шаночкин С. В.
Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия

FUNCTIONAL METHOD FOR MODELING HYDROLOGICAL PROCESSES

Gaidukova E.V., Victorova N.V., Shanochkin S. V.
Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg, Russia

Разработан алгоритм вычисления размерности пространства вложения временных гидрологических рядов функциональным методом, основанном на построении автокорреляционных зависимостей. Метод апробирован на гидрологических рядах различных величин.

An algorithm was developed for calculating the dimension of the nesting space of hydrological time series by the functional method, based on the construction of autocorrelation dependencies. The method was tested on hydrological series of various values.

Введение

При математическом моделировании необходимо знание всех фазовых переменных, учитываемых в модели, для получения достоверных прогностических результатов. Число фазовых переменных позволяет выявить, так называемая, фрактальная диагностика, применяемая к временному ряду наблюдений за одной из компонент, характеризующей рассматриваемую систему. В гидрологии уже применяется подобная диагностика, основанная на методах оценки амплитудной вариации [1], *R*/*S*-анализа [2, 3] и корреляционного интеграла [4]. Перечисленные методы обладают определенными требованиями к диагностированному временному ряду, одно из которых – относительно продолжительные ряды наблюдений. Наиболее перспективным, с этой точки зрения, для применения к гидрологическим рядам является функциональный метод [5], дающий небольшую погрешность при любой длине ряда.

Цель данного исследования заключается в разработке и апробации алгоритма определения размерности пространства вложения функциональным методом.

Метод исследования

Функциональный метод ориентирован на выявление и изучение функций объектов или систем. Метод заключается в том, чтобы в последовательности y_n, y_{n+1}, ... определить наличие функциональной зависимости, которая описывала бы рассматриваемый временной ряд. То есть между y_{n+1} и предыдущими k величинами y_n, y_{n-1}, y_{n-k+1} должна существовать функция f. В этой последовательности выбирается, начиная с какого-то n, произвольная подпоследовательность длиной k и рассматриваются все возможные векторы: $\bar{\omega}^{(n)} = \{y_{n-k+1}, y_{n-k+2}, ..., y_{n-1}, y_n\}$.

Фиксируется одна из последовательностей, начинающаяся с какого-то номера n_0, и обозначается $\omega(0)$. Рассматривается расстояние между произвольным вектором $\omega(n)$ и этим $\omega(0)$:

$$\rho_k(n, n_0) = |\, \bar{\omega}^{(n)} - \bar{\omega}^{(0)} \,| = [\sum_{i=1}^{k} (y_{n-k+i} - y_{n_0-k+i})^2]^{1/2},$$

а также величина

$$r(n, n_0) = |\, y_{n+1} - y_{n_0+1} \,|.$$

Алгоритм определения числа переменных функциональным методом заключается в следующих шагах:

– для различных n находятся значения $\rho_k(n, n_0)$ и $r(n, n_0)$;

– соответствующие точки наносятся на плоскость (ρ, r);

– полученные точки последовательно соединяются.

Если при выбранном k, наблюдается функциональная зависимость, то это k характеризует размерность пространства вложения, т. е. число переменных в математической модели.

Исходные данные и результаты исследования

Для апробации разработанного алгоритма функционального метода была составлена база данных, состоящая из 33 различных временных рядов, различного происхождения. В базу данных вошли 11 мировых рек с максимальной длиной ряда наблюдений за расходом воды (от 93 до 178 лет), 15 рек на Европейской территории России, а также ряды наблюдений за скоростью течения, измеренной в различных условиях на р. Стрелка и р. Тверца. Все ряды прошли проверку на однородность по критериям Фишера и Стьюдента (у.з. 5 %), для многолетних рядов были построены разностно-интегральные кривые, рассчитаны статистические характеристики и их погрешности.

На рис. 1 показан пример графиков (ρ, r) для различных сдвижек k. «Если при каком-то k функциональная зависимость достигнута, то в области малых ρ все участки ломаной расположатся вблизи начала координат» [5]. Размерность пространства вложения – это минимальное значение k, начиная с которого ломаная обладает этим свойством. На графики наносилась аппроксимирующая линия полинома, начинающаяся с нуля. Наличие функциональной зависимости подтверждалось коэффициентом детерминации R^2, т. е. считалось, что график, на котором значение R^2 будет максимальным, и характеризует размерность вложения. Например, на рис. 1 размерность пространства вложения равна трем.

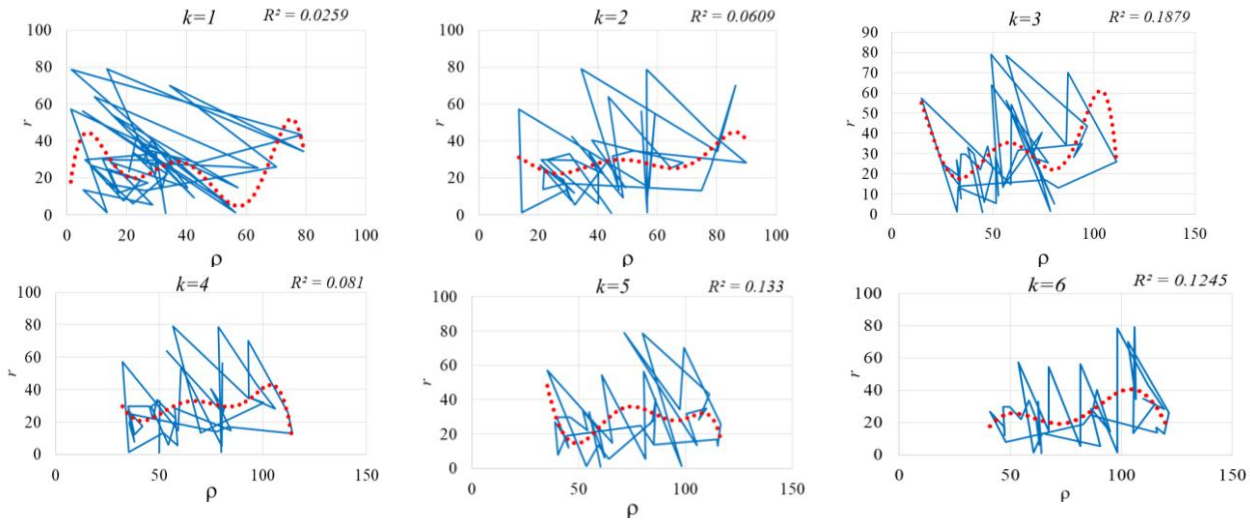


Рис. 1. Примеры зависимостей $r(\rho)$, р. Яренга – с. Тохта.

Размерности пространства вложения, полученные функциональным методом, были сравнены с результатами метода, основанного на корреляционном интеграле (см. рис. 2). Получено, что только по 8 рядам значения размерностей совпали. Подобный результат можно объяснить, во-первых, погрешностями метода, основанного на корреляционном интеграле [6], и, во-вторых, неточностью интерпретации результирующих зависимостей функционального метода.

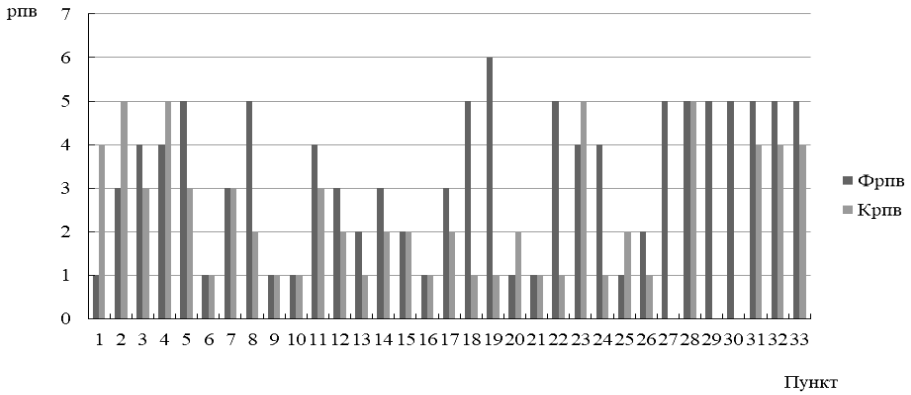


Рис. 2. Размерности пространства вложения (рпв), рассчитанные функциональным методом (Фрпв) и методом, основанном на корреляционном интеграле (Крпв).

Выводы

В результате проведенного исследования был составлен алгоритм функционального метода для определения размерности пространства вложения, который дает небольшие погрешности при любой длине ряда, что важно для диагностики гидрологических временных рядов. Алгоритм был апробирован на рядах расходов воды с водосборах, расположенных в различных географических зонах, а так же на рядах скоростей речного потока. Полученные результаты говорят о необходимости уточнения алгоритма функционального метода.

Исследование частично реализовано при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования, грант № FSZU-2020-0009.

Литература

1. Чумак О.В. Энтропии и фракталы в анализе данных. – М.−Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2011. – 164 с.

2. Дубовиков М.М., Старченко М.М. О фрактальном анализе хаотических временных рядов. // Математические методы в синергетике. – М.: АНО «Центр междисциплинарных исследований», 2013. – 14 с.

3. Hurst H.E. Long-Term Storage: An Experimental Study (London) / H.E. Hurst, R.P. Black, Y.M. Simaika. – 1965. – 145 p.

4. Гайдукова Е.В. Фрактальная диагностика в моделировании гидрологических процессов. – СПб: Астерион, 2017. – 98 с.

5. Лоскутов А.Ю. Анализ временных рядов // Курс лекций. – М.: МГУ, 2008. – 113 с.

6. Гайдукова Е.В., Шаночкин С.В. К вопросу о необходимой длине гидрологического ряда при его фрактальном диагностировании // Евразийское Научное Объединение, № 2-5 (60), 2020. – С. 341–343.

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КУРСА ПО БИОМЕТЕОРОЛОГИИ В РАМКАХ РЕАЛИЗУЕМЫХ В РГГМУ ПРОЕКТОВ

Головина Е.Г., Подгайский Э.В., Черемных А.В., Скорик Я.В., Тенилова О.В.
Российский государственный гидрометеорологический университет

EXAMPLES OF APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS IN HEALTHCARE: EXPERIENCE IN DEVELOPING A COURSE ON BIOMETEOROLOGY WITHIN THE FRAMEWORK OF PROJECTS IMPLEMENTED IN RSHU

Golovina E.G., Podgaiskii E.V., Cheremnykh AV, Skorik Ya.V., Tenilova O.V.
Russian State Hydrometeorological University

Разработка и внедрение современных управленческих решений с учетом изменяющихся погодо-климатических условий, внедрение эффективных обучающих форматов для формирования всеобщей цифровой грамотности и профессиональных компетенций 21 века. Реализация образовательных проектов позволяет ответить на вызовы времени и решить задачи высшей школы по внедрению электронного обучения.

Development and implementation of modern management solutions, taking into account changing weather and climatic conditions, the introduction of effective training formats for the formation of universal digital literacy and professional competencies of the 21st century. The implementation of educational projects allows us to respond to the challenges of the time and solve the problems of higher education in the implementation of e-learning.

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ) в 2015-2019 гг. являлся участником международного проекта ERASMUS+ECOIMPACT «Адаптивная учебная среда для развития компетенций в отношении влияния местной погоды, качества воздуха и климата на экономику и социальную жизнь».

Основная идея проекта – применение IoT–технологий для обучения специалистов, отвечающих за принятие решений в погодозависимых сферах деятельности, развитие инновационных направлений цифровой экономики и внедрение современных решений в хозяйственную деятельность, имеющих принципиальное значение для динамичного развития регионов и повышения качества жизни населения.

Городские агломерации, быстро увеличивающиеся в размерах и количестве, образуют искусственные среды, чья природа и свойства недостаточно понимаемы обществом. С увеличением сложности и неоднородности городской инфраструктуры, современная жизнь и экономика все больше зависят от местной погоды, качества воздуха, воды, почвы и микроклимата. Они составляют «индивидуальные среды», которые контролируются физическими и химическими процессами в нижнем, существенно турбулентном пограничном слое земной атмосферы, непосредственно взаимодействующим с поверхностью Земли и подвергающимся влиянию промышленных выбросов, загрязнения воздуха, воды, почвы и антропогенного потепления. Проект ECOIMPACT направлен на содействие модернизации образования по вопросам окружающей среды . [1].

Основные задачи проекта:

– разработка образовательного контента для среды обучения в области экономических и социальных последствий влияния местной погоды, качества воздуха и климата, ориентированной на студентов высших учебных заведений, специалистов в области гидрометеорологии и менеджеров на метеозависимых предприятиях и в государственных учреждениях;

– разработка аппаратных и программных компонентов среды обучения и интегрирование их с содержанием обучения;

– тестирование интегрированной среды обучения в университете, на курсах повышения квалификации и переподготовки кадров;

– разработка стратегий коммерциализации для адаптивной системы интегрированной среды обучения.

Участниками проекта ECOIMPACT являлись:

– университеты Европы: Университет в г. Хельсинки, Финляндия; Аграрный университет в г. Пловдив, Болгария; Университет Центральной Европы в г. Скалица, Словацкая республика;

– университеты Украины: Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Одесский государственный экологический университет, Херсонский государственный аграрный университет;

– университеты России: Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Институт повышения квалификации Росгидромета.

Сотрудниками Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского была разработана персональная среда обучения – ECOIMPACT Personal Learning Environments (Ecoimpact-PLE). В единую систему были интегрированы специализированные учебные материалы, «умные» приборы для наблюдения за погодой и программное обеспечение для обучения [2].

Актуальность биометеорологических исследований позволила включить в этот проект тематику, связанную с возможностью использования метеорологической информации для охраны и поддержания здоровья населения.

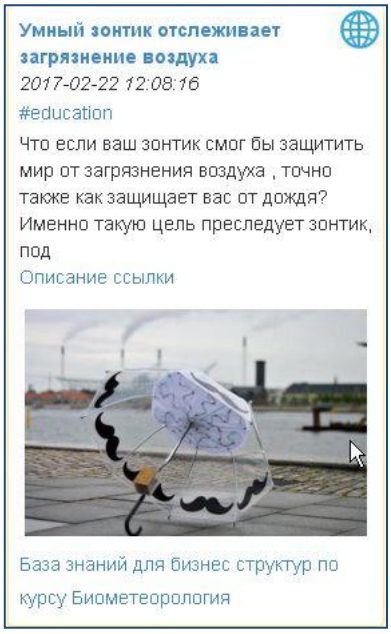
Для реализации проекта был разработан курс «Биометеорология, интернет вещей и бизнес», включающий образовательный контент по влиянию погоды на социальную и экономическую сферы. Курс адресован представителям бизнеса, сотрудникам различных городских служб, обычным городским жителям и другим категориям людей, не имеющим гидрометеорологического образования и желающим получить базовые знания из области биометеорологии.

Курс размещен в Ecoimpact-PLE https://ecoimpact-ple.com/ru/categories/157.html и в системе дистанционного обучения (СДО) РГГМУ http://moodle.rshu.ru/course/view.php?id=42.

Обучение в СДО осуществляется на модульной основе. Модульную технологию можно использовать в любой системе обучения: четкое дозирование учебного материала, информационно-методическое обеспечение с программой логически последовательных действий для обучающегося, возможность осваивать материал в удобное для него время, – все это помогает улучшишь качество и эффективность образовательного процесса в целом [3].

Курс состоит из Введения и четырех модулей и рассчитан на 20 часов самостоятельной работы обучающегося: модуль 1 - Медицинская метеорология, модуль 2 - Оценка биоклиматических ресурсов для туризма и рекреации, модуль 3 - Городская биометеорология, модуль 4 - Изменение климата.

Образовательная программа курса разработана с учетом новейших знаний по теме и включает в себя видеолекции, интерактивные модули, лабораторные и практические работы, тесты. Для повышения ценности гидрометеорологической информации для бизнеса, наглядного отображения экономической эффективности разработаны специальные лабораторные работы с применением интернета вещей [4].



Базы знаний по курсу размещены в системе управления персональными знаниями. Вы сможете узнать, как Ваш зонтик смог бы защитить мир от загрязнения воздуха, или как действует сеть мониторинга качества воздуха «Breezometer», построенная с использованием интернета вещей, или как датчики на детских колясках могут помочь осуществлять мониторинг качества воздуха в Лондоне.

Учебные материалы курса «Биометеорология» разработаны сотрудниками учебной лаборатории «Погода и человек», созданной на метеорологическом факультете университета.

Цель исследовательских работ - оценка космических и земных факторов, влияющих на здоровье человека [5].

Получены результаты, позволяющие внести предложения о создании специализированного прогноза погоды для медицинских целей. Прогноз погоды для медицинских целей позволит вносить коррективы в организацию профилактических мероприятий для оздоровления населения, при организации туристского и курортного дела и при организации администрациями районов праздничных мероприятий.

Литература

1. Сайт ECOIMPACT [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://e-impact.net/ru/whyecoimpact/
2. Подгайский Э.В., Скорик Я.В., Черемных А.В. Гидрометеорология и интернет вещей: настоящее и будущее. // Ученые записки Института социальных и гуманитарных знаний №1(15), 2017, С. 442-445.
3. Сайт ЯГПУ [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://cito-web.yspu.org/link1/metod/met49/node15.html
4. Черемных А.В., Скорик Я.В., Сабанчиева Д.Х., Подгайский Э.В. Дистанционное обучение в российском государственном гидрометеорологическом университете: направления, системы, инструменты. В книге: Гидрометеорология и экология: научные достижения и перспективы развития Труды II Всероссийской конференции. 2018. С. 681-684.
5. Ступишина О.М., Головина Е.Г., Мостаманди М.С., Коротков К.Г., Голубенко К.С. Использование метеорологической и гелиогеофизической информации для медицинских целей //Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2016. № 42. С. 164-177.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Горбаренко А.В. [1], Киреева М.Б. [1]
[1] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

TRANSFORMATION OF THE WATER REGIME OF RIVERS IN THE UPPER VOLGA BASIN UNDER CLIMATE CHANGE

.Gorbarenko A.V [1], Kireeva M.B. [1]
[1] Lomonosov Moscow State University

Последние десятилетия Европейская территория России характеризуется весьма значимым изменением климатических характеристик, которые влияют на водность рек, преобладающие типы их питания, распределение стока внутри года. Актуальность изучения рек бассейна Верхней Волги обуславливается увеличением числа опасных гидрологических явлений, которые с каждым годом вызывают все большие разрушения. Также немаловажной причиной изучения является потребность в адаптации водного хозяйства к современным тенденциям и условиям формирования водных ресурсов, как на региональном, так и на более глобальном уровне. Регион Верхней Волги обладает высокой экономической значимостью водных ресурсов, как один из основополагающих факторов развития экономики и хозяйства. К тому же данный регион является транзитным между разнонаправленными тенденциями в изменении стока рек, что особенно интересно с научной и практической точки зрения. В данной работе приведен анализ временной изменчивости компонентов стока, полученных на основе автоматизированного расчленения гидрографа, а также анализ пространственных закономерностей в трансформации водного режима рек Верхней Волги.

Recent decades, the European territory of Russia is characterized by very noticeable change in climatic characteristics, which affect changes in river water content, prevailing types of nutrition, runoff distribution within a year. The relevance of studying the rivers of the Upper Volga basin is due to the increase in the number of hydrological hazards, which cause more and more destruction every year. Also, an important reason for the study is the need to adapt the water economy to modern trends and conditions for the formation of water resources, both at the regional and more global levels. The Upper Volga region has a high economic importance of water resources, as one of the fundamental factors in the development of the economy. The Upper Volga region has a high economic importance of water resources, as one of the fundamental factors in the development of the economy. In addition, this region is a transit region between multidirectional trends in the change in river flow, which is especially interesting from a scientific and practical point of view. This paper presents an analysis of the temporal variability of runoff components obtained on the basis of automated dissection of the hydrograph, as well as an analysis of spatial patterns in the transformation of the water regime of the rivers of the Upper Volga.

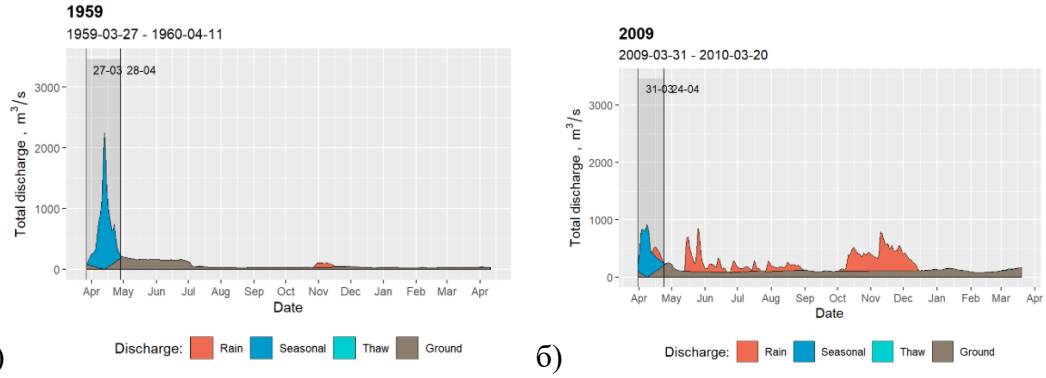
Данные и методы

В ходе работы были использованы многолетние данные о расходах рек бассейна Верхней Волги. Главным критерием при отборе репрезентативных данных был непрерывный ряд наблюдений, а так же максимальный охват

исследуемой территории. Таким образом, были проанализированы данные с 32 гидрометрических постов. В качестве основного инструмента анализа данных был выбран алгоритм автоматического расчленения гидрографа по типам питания GrWat [1]. Данный алгоритм позволил составить порядка 2 тысяч гидрографов и 12 карт пространственного распределения основных гидрологических характеристик.

Анализ полученных результатов

Анализ гидрографов стока рек за исторический период позволяет утверждать, что на некоторых реках бассейна Верхней Волги присутствует тенденция к снижению объёма стока в половодье и увеличению доли паводочного и меженного стока в годовом стоке (Рис.1).

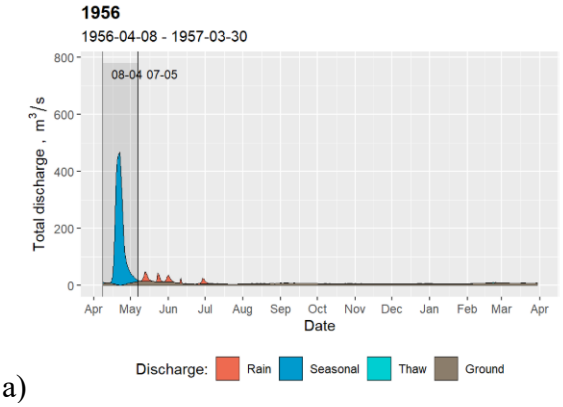


а) б)

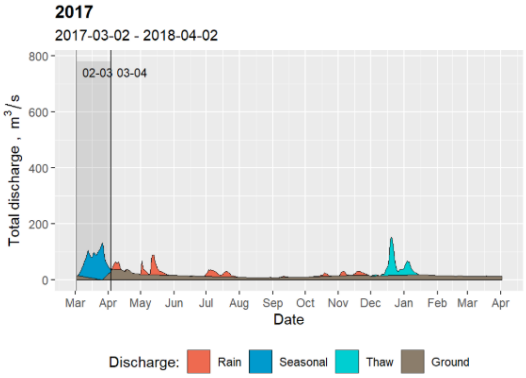
Рис. 1. Гидрографы реки Волга в створе Старица за 1959 (а) и 2009 годы (б).

Причиной таких изменений в водном режиме рек данного региона является увеличение количества жидких осадков в зимний период, что является прямым следствием увеличения среднезимней температуры и увеличением числа оттепелей. Повышение температуры в зимний период предположительно связано с вторжением воздушных масс со стороны Атлантики. Происходит частый переход температуры через ноль, что приводит к изменению фазы выпадения осадков с твердой на жидкую [2].

Последствием данных климатических изменений является трансформация типичной для Европейской части России формы гидрографа. На смену одновершинным гидрографам приходят современные гидрографы с гребенчатой и растянутой формой в фазу повышенной водности. (Рис.2)



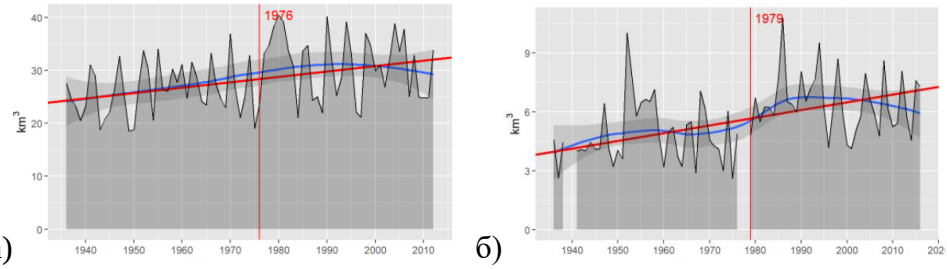
а)



б)

Рис. 2 Гидрографы реки Протва в створе Спас-Загорье за 1956 (а) и 2017 годы (б).

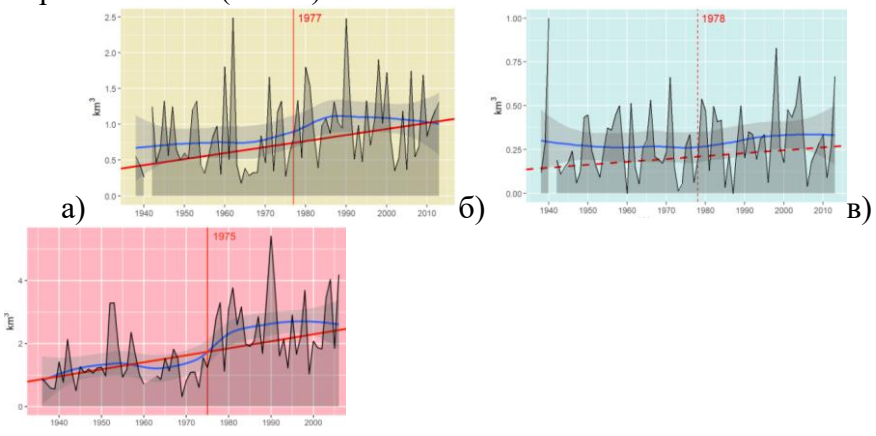
Если взглянуть на графики годового распределения стока (Рис.3.) видно что сток увеличивается несмотря на тенденцию к уменьшению максимального стока в половодье.



а) б)

Рис. 3 Годовой сток рек Ока (а), Унжа (б)

Это говорит о снижении доли стока в половодье в общем годовом стоке и увеличении влияния паводочного, оттепельного и меженного стока рек бассеина Верхней Волги (Рис.4.).



а) б) в)

Рис.4. Обьем паводочного стока реки Угра(а), оттепельного стока реки Клязьма(б), меженного стока реки Молога (г)

В ходе работы также были составлены карты пространственного распределения и изменения основных гидрологических характеристик на основе данных до 1978 года и после. На карте распределения максимального суточного модуля стока за период половодья и его изменения (Рис.5) мы можем наблюдать практически повсеместное уменьшение модуля максимального суточного стока за исключением некоторых малых водосборов и нескольких водосборов на левобережье Волги.

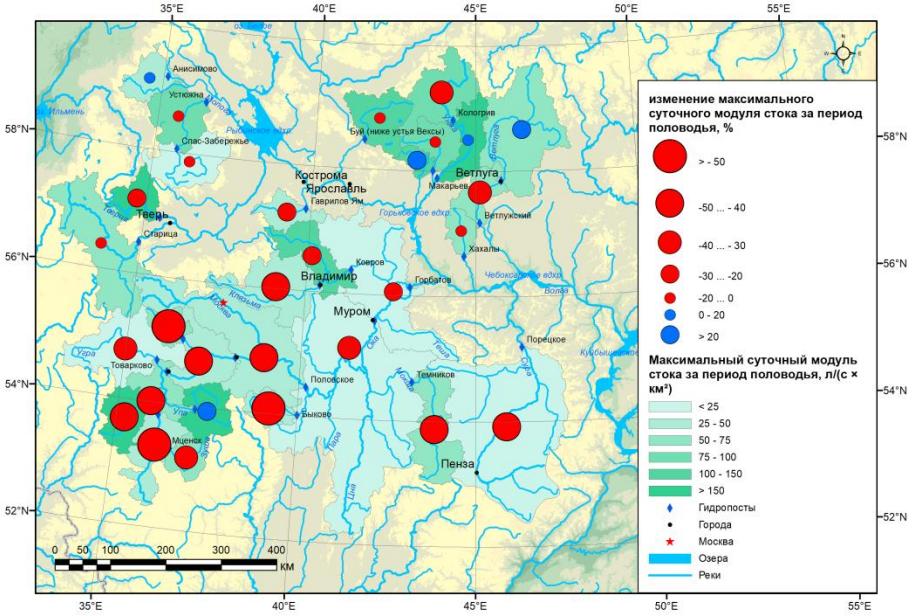


Рис.5. Карта распределения максимального суточного модуля стока за период половодья и его изменения

В противовес уменьшению модуля стока за период половодья, происходит значительное увеличение максимального модуля стока за период дождевых паводков (Рис.6). Практически на всех реках, относящихся к бассейну реки Оки, увеличение максимального модуля стока составляет не менее 20%. Исключениями являются реки Проня и Мокша, где максимальный модуль стока за период дождевых паводков снизился более чем на 40%

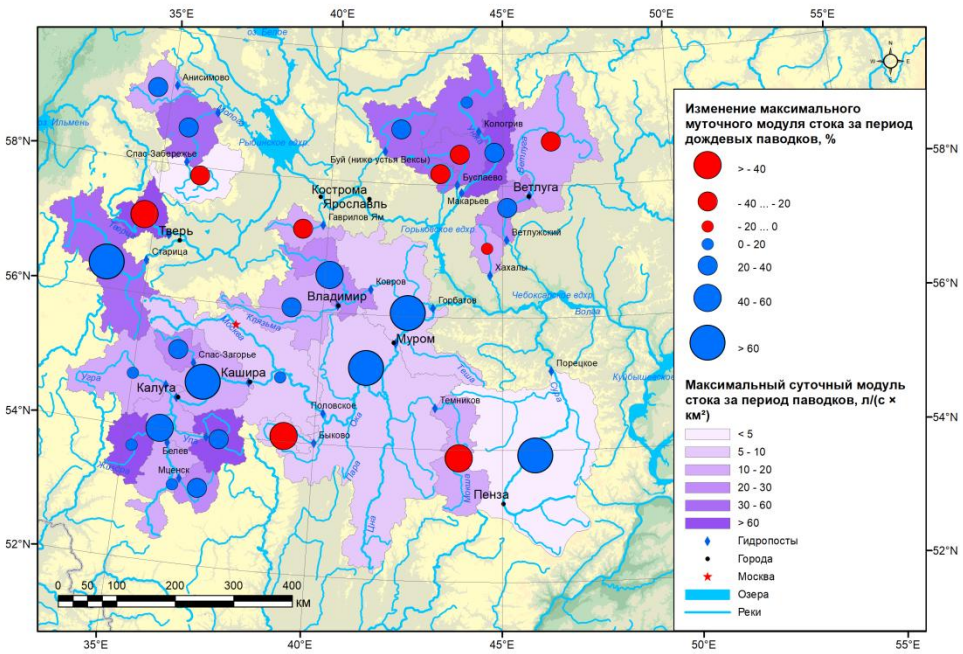


Рис.6 Карта распределения максимального суточного модуля стока за период дождевых паводков и его изменения

Выводы

По результатам проделанной работы можно сделать вывод о том, что для большинства рек характерна трансформация водного режима. Рек со снеговым типом питания все же по-прежнему большинство, но количество рек, где доля паводочного стока преобладает над долей стока в половодье, увеличивается. Данный факт говорит нам о необходимости дальнейшего изучения данной проблемы, так как изменение водного режима некоторых рек может приводить к существенным изменениям во всех сферах деятельности человека, а так же, к увеличению числа опасных гидрологических явлений, последствия от которых оборачиваются большими экономическими потерями, а порой и человеческими жертвами.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 19-77-10032

Литература

1. Киреева М.Б., Рец Е.П., Самсонов Т.Е., Фролова Н.Л., Изучение современного водного режима рек европейской территории России с помощью автоматизированного алгоритма расчленения гидрографа grwat // Сборник докладов международной научной конференции «Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения», Нижний Новгород, 8 – 14 сентября 2019 г., С 160 – 165.
2. Лавров С.А., Калюжный И.Л., Влияние климатических изменений на сток весеннего половодья и факторы его формирования в бассейне Волги, // Водное хозяйство России № 6, 2016. С. 42 – 60.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА РЕКАХ БАССЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ.

Горошкова Н.И. [1], Стриженок А.В. [2]
[1] - ФГБУ «ГГИ», Санкт-Петербург, Россия
[2] - ФГБУ «ГГИ», Санкт-Петербург, Россия

DANGEROUS HYDROLOGICAL FACTS IN THE RIVERS OF THE BALTIC SEA BASIN

Goroshkova N.I. [1], Strizhenok A.V. [2]
[1] - Russian Federal State Budgetary Organization “State Hydrological Institute, Saint - Petersburg, Russia,
[2-] Russian Federal State Budgetary Organization “State Hydrological Institute, Saint - Petersburg, Russia

Аннотация. В представленной работе выполнен анализ условий заторообразования на реках и установлены основные факторы, влияющие на данный процесс.
Ключевые слова: заторы, зажоры, затопления.

Abstract. In the present work, an analysis of congestion on the rivers of the Baltic sea basin is performed and the main factors affecting this process are established.
Key words: ice congestion,ice jeam, flooding

В пределах России около 80% всех наводнений вызваны интенсивным снеготаянием. В 50% случаев это наводнения вследствие заторов льда. На подъем уровня от весеннего половодья накладывается подъем уровня воды от затора, что иногда приводит к катастрофическим наводнениям. При этом надо иметь в виду, что достаточно часто максимальные уровни заторного происхождения превышают максимальные уровни воды при свободном русле. Для периода замерзания рек, рассматриваемого региона, характерны зажорные явления. Зажоры присущи рекам, замерзающим снизу вверх по течению и особенно находящимся в районах с затяжной осенью и частыми оттепелями в течение зимы, т.е. большинству рек Ленинградской области. Участки, где образуются зажоры – это места образования заторов весной.

Процессу заторообразования способствуют не только зажорные скопления, сохраняющиеся до весны, но и большие объемы льда при ледоходе, наличие в русле препятствий движению льда в виде островов, кос, крутые повороты русла, переломы продольного профиля реки от участка с большим уклоном водной поверхности к участку с малым уклоном, впадения крупных притоков, имеющих направление течения отличное от главной реки.. В разных сочетаниях перечисленные факторы присущи рекам исследуемого региона: Луге, Тосне, Паше, Ояти, Великой и другим.

Заторы льда на реках формируются, практически, на одних и тех же участках, что обусловлено, в основном, геоморфологическими факторами. Велико влияние на условия образования ледовых явлений – шугохода, зажора или ледостава, соотношения температуры воздуха и скорости течения воды в период замерзания реки. Основные показатели процесса заторообразования:

-максимальный уровень в начале ледостава ($Н_{лдст}$)

-расход воды ($Q_{кр}$),

- максимальная за зиму толщина льда на участке образования затора ниже по течению;

-температура воздуха периода весеннего таяния льда при образовании затора [1].

Хотя затор, как правило, явление кратковременное: обычно 0,5-1,5 суток, но иногда он продолжается 6-8 суток. Такой характер вскрытия наблюдается после суровых зим и при дружных веснах. В процессе заторообразования участвует значительный объем льда, определяемый толщиной льдин. Опасные весенние заторы образуются при толщине льдин более 30 см и большой толщине отложений шуги на участке, сохранившихся с осени.

На реке Луга и ее притоках наивысшие уровни воды формируются в момент прохождения максимального расхода весеннего половодья в условиях свободного ото льда русла. Однако для ряда створов существенное влияние на формирование максимальных уровней оказывают заторы (таблица 1).

Таблица 1 - Генезис формирования максимальных уровней воды на реках бассейна р. Луга

№ п/п	Река-Пункт	Повторяемость максимального уровня воды (%) сформированного:		
		весенним половодьем	затором, зажором*	дождевым паводком
1	р Луга - г. Луга	96	2	2
2	Р. Луга - ст. Толмачево	98	1	1
3	р Луга - д. Сабск	79	21	-
4	р Луга - с. Киноши	88	12	-
5	р Луга - д. Большое Кленно	58	42	-
6	р Луга - г. Кингисепп	54	46	-
7	р Луга - д. Жабино	100	-	-
8	р. Луга -с. Большое Куземкино	80	14	6
9	р Лемовжа-д. Хотнежа	62	38	-
10	р Вруда-д. Извоз	30	70	-

В районе г. Кингисеппа из всех лет наблюдений в 46 % случаев максимальные подъёмы воды произошли при заторах льда. Заторы образуются в месте крутой излучины у Александровской Горки (54 км от устья), у острова (56 км) и на порогах, где при замерзании происходит интенсивное образование шуги

При образовании заторов представляют опасность также навалы льда на берегах высотой до 5-15 м. Давление больших масс льда на береговые сооружения, речные причалы и пришвартованные суда приводит к их разрушению.

Повышению опасности заторных и зажорных наводнений способствует антропогенный фактор: сброс в реки теплых промышленных и бытовых сточных вод приводит к образованию полыньи – «фабрики» шуги при отрицательных температурах воздуха.

Данные по метеостанции Пулково показывают, что для Северо-Запада характерен рост средней годовой температуры: за последние 30 лет температура воздуха повысилась в среднем: на 1,7°С за год, на 3,5°С за зиму, и на 1,5°С за лето. Более выражен рост температур за ноябрь-март. Это неизбежно вызывает изменение водного и ледового режима рек, которые являются интегральными показателями изменений климата. Следует иметь в виду, что влияние происходящих климатических изменений имеет двоякий характер [2]. С одной стороны, наблюдается уменьшение толщины льда и снижение максимальных уровней весеннего половодья. С другой -

увеличение периода формирования ледостава, смещение сроков его образования на 10-14 дней, частые зимние оттепели со снего-дождевыми паводками, удлиняют продолжительность существования зажорных явлений, зачастую на 2-3 месяца (с ноября-декабря по январь-февраль). Поэтому уровни в начале ледостава растут, что обуславливает высокую вероятность весенних заторов (рисунок 1).

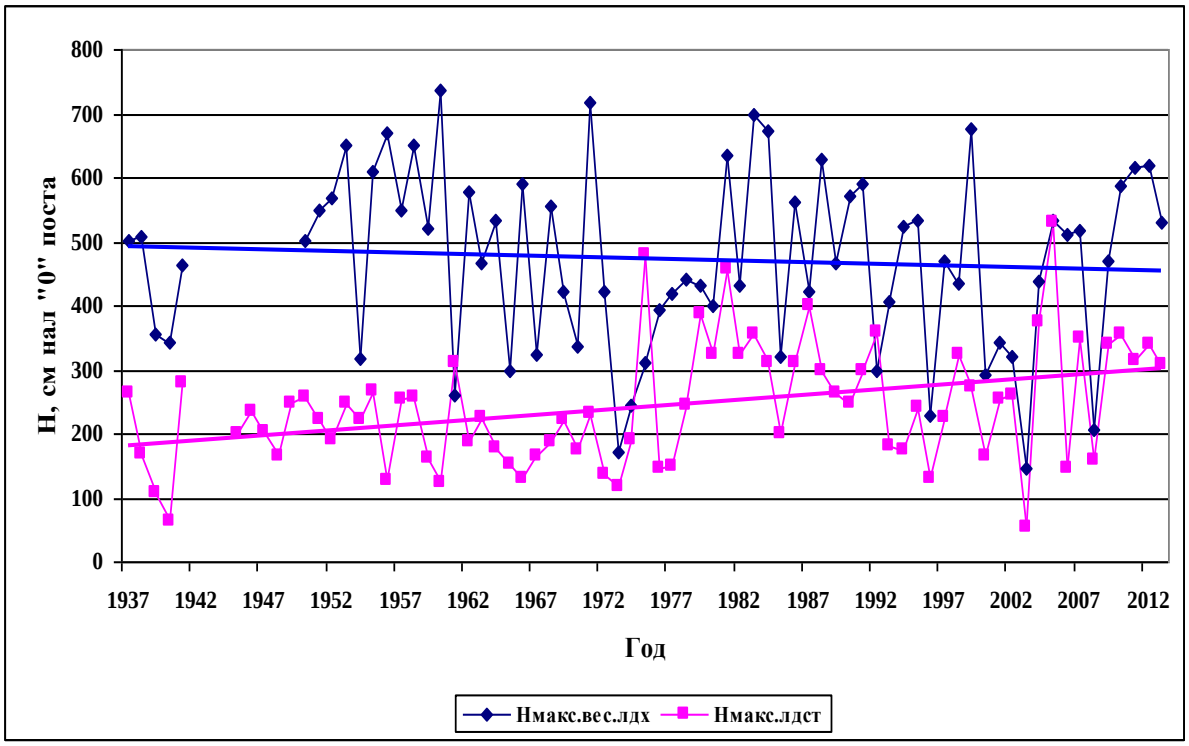


Рисунок 1. График хода максимальных уровней весеннего ледохода и осеннего ледостава р. Луга – г. Кингисепп (1937-2017 гг).

Среднее годовое количество осадков с 1980 по 2015 год увеличилось и среднее их значение за этот период составило 664 мм, в то время как за период 1950-1979 гг. оно было 590 мм. Как следствие увеличения осадков происходит увеличение стока, как среднего годового, так летнего и зимнего минимального. Увеличению зимнего стока способствует и более позднее замерзание, и более раннее оттаивание почвы, т.е. грунтовое питание.

Подтверждением этого служит то, что, если за 1950-75 гг. в створе р. Луга – г. Кингисепп отмечено 6 заторов, то за период такой же длительности, в 1976-2001 гг. их было 16. Они не имели катастрофических последствий, но затоплению подвергались населенные пункты в окрестностях Кингисеппа

Наиболее сложные ситуации возникают, когда затор образуется на пике весеннего половодья и за мощным затором следует высокая волна половодья – в первом случае из-за формирования особо высоких уровней, а во втором – из-за увеличения продолжительности стояния высокой воды [3].

Наиболее часто заторы льда наблюдаются на реках Сясь, Оять, Паша, Луга, Мста, Ловать и Великая. Иногда они обусловливают значительные наводнения. В нижних течениях рассматриваемых рек на процесс заторообразования существенное влияние оказывает подпор от водоприёмников: для Тосно – это Нева, а для Луги – Финский залив. Высокие уровни водоприёмников способствуют смещению очага устьевого затора вверх по течению, а также увеличению продолжительности затора и максимального заторного уровня воды.

Согласно исследованиям, выполненным в ГГИ под руководством В.А. Бузина, превышение наивысшего заторного уровня 1% вероятности над поймой, например, в д. Налючи на р. Пола составляет 1,59 м, в д. Пятоново на р. Великая – 0,28 м, в д. Уварово на р. Кунья – 1,65 м. Потенциальный риск затопления в этих створах составляет соответственно 1,08 м; 0,27 м; 1,45 м.

Выводы: Изучение факторов заторообразование на реках, мониторинг этих опасных явлений,разработка и усовершенствование уже существующих методик прогноза максимальных заторных уровней в условиях изменяющегося климата необходимы для рационального планирования обеспечения безопасности населения, а также поддержания эффективности хозяйственной деятельности.

Литература

1. *Бузин В.А.* Зажоры и заторы льда на реках России. СПб., 2015, 240 с.
2. *Георгиевский В.Ю., Коронкевич Н.И., Алексеевский Н.И.* Водные ресурсы и гидрологический режим рек РФ в условиях изменения климата // Пленарные доклады VII Всероссийского гидрологического съезда, 19-21 ноября 2013 г. СПб: издание Государственного Гидрологического института, 2014. С. 79-102.
3. *Гинзбург Б.М.* Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в XXI веке.- Метеорология и гидрология, 2005, №12, с. 88-97.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ГЛУБИНЫ КАК КОМПОНЕНТ ГОМС

Греков А.Н., Греков Н.А.,. Рязанов В.А, Кузьмин К.А.
Институт природно-технических систем, г. Севастополь, РФ

Grekov A.N., Grekov N.A., Rjazanov V.A., Kuzmin K.A.
Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, RF

В работе рассматривается многофункциональный измеритель вектора скорости течения, температуры и глубины как компонент гидрологической оперативной многоцелевой системы. Приводится состав и работа измерителя в различных режимах, а также варианты его эксплуатации в различных сценариях.

The paper considers a multifunctional meter of the current velocity, temperature and depth vector as a component of a hydrological operational multipurpose system. The composition and operation of the meter in various modes, as well as options for its operation in various scenarios are given.

Цель и задачи. Многофункциональный измеритель вектора скорости течения предназначен для измерения скорости течения, направления течения, глубины, температуры и гидростатического давления с дополнительной функцией измерения скорости звука и расчета солености и плотности воды в любых водотоках с берега, береговых сооружений, мостов и плавсредств.

Измеритель может использоваться на штанге, тросе или кабеле для глубин до 1000 м, имеет различные аксессуары к прибору, который позволяет использовать его с различными хвостовиками, штангами, грузами и кабелями.

Описание. Измерение расхода воды прибором производится аналогично стандартной гидрометрической вертушки (раздел 5.3.2 руководства [1]), но с некоторым упрощением процесса измерения. Например, измеритель оснащен датчиком глубины, что позволяет обходиться без градуированной штанги или глубомера. По этой же причине нет необходимости в угломере и расчете истинной глубины при сносе прибора. Согласно пункту 5.3.2.3.1 руководства [1] все вертушки должны градуироваться раз в 3 года или через 300 ч эксплуатации в отличие от нашего измерителя, который не требует периодической градуировки, необходимой лишь в случае физического повреждения прибора (аналогично другим акустическим приборам, см. например пункт 5.3.7.5 руководства [1]). Еще одним улучшением в сравнении со стандартной вертушкой является возможность измерения очень низких скоростей от 1 мм/с и потоков малой глубины от 4 см, так как, согласно руководства, горизонтальная ось вертушки должна располагаться от поверхности воды на расстоянии, не меньшем чем полторы высоты ротора, или на расстоянии от дна русла, не меньшем чем три высоты ротора.

Состав и работа измерителя в автономном варианте. Состав и работа измерителя в телеметрическом режиме с бортовым блоком рассмотрена в работе [2]. В состав измерительного модуля входят микроконтроллер, аналоговый датчик давления, преобразователь временных интервалов в цифровой код, к которому подключены ультразвуковые приемники и излучатели, цифровой датчик температуры и цифровой трехосевой компас. Выход датчика давления подключен к одному из входов аналого-цифрового преобразователя, интегрированного в микроконтроллер. Преобразователь временных интервалов в цифровой код и компас-акселерометр подключены к микроконтроллеру по интерфейсу SPI, датчик температуры – по однопроводному

интерфейсу. После подачи питания на измерительный модуль производится настройка интерфейсов, затем вплоть до отключения питания производится формирование и передача измерительного кадра по интерфейсу RS-232 на автономный или бортовой модуль или на персональный компьютер (ПК).

Формирование измерительного кадра состоит из следующих действий: аналогово-цифровое преобразование сигнала датчика давления, добавление полученного цифрового кода в кадр; измерение времени пролета ультразвуковых импульсов в прямом и обратном направлении, добавление полученных цифровых кодов в кадр; чтение результата измерения температуры по сигналу готовности датчика температуры, добавление цифрового кода в кадр; опрос компаса-акселерометра, получение значений цифровых кодов акселерометра и магнетометра, вычисление на их основе значения азимута, добавление цифровых кодов акселерометра по трем осям и вычисленного значения азимута в кадр.

В состав автономного модуля входят микроконтроллер, цифровые часы реального времени и флэш-память. Автономный модуль принимает измерительные кадры измерительного модуля по интерфейсу RS-232. Фиксируются время и дата получения измерительного кадра путем опроса часов реального времени, также с помощью интегрированного в микроконтроллер таймера фиксируется цифровой код, соответствующий долям секунды – времени, прошедшему после приема предыдущего измерительного кадра. Эти данные добавляются в двухбуферную структуру, размер которой соответствует размеру страницы флэш-памяти. Когда один из буферов структуры заполняется, он передается на запись во флэш-память, параллельно начинается добавление другого буфера. Процесс продолжается до тех пор, пока во флэш-память не будет записано необходимое количество данных, определяемое настройками автономного модуля.

Настройки автономного модуля хранятся в энергонезависимой памяти микроконтроллера в структуре настроек. Структура настроек содержит заголовок, градуировочные коэффициенты измерительных каналов прибора, информацию о расписании работы автономного модуля, информацию о прошивках и серийный номер прибора. Эти настройки можно записывать и считывать с помощью приложения пользователя ПК.

Приложение пользователя ПК необходимо для осуществления взаимодействия с автономным модулем. С помощью приложения выполняются следующие задачи: настройка автономного модуля, чтение настроек автономного модуля, чтение и очистка флэш-памяти автономного модуля. Процедура чтения состоит из нескольких задач: вторичная обработка, анализ и хранение данных. Задача вторичной обработки – декодирование страниц флэш-памяти, применение к цифровым кодам градуировочных полиномов в соответствии с алгоритмами обработки для получения физических величин и данных о времени измерений. Для анализа осуществляется графическое отображение полученных физических величин. Для хранения данных применяется запись в файлы двух типов: файлы первичных данных, представляющие собой объединение структуры настроек и содержимого флэш-память автономного модуля, и текстовые файлы, строки которых содержат дату, время и измеряемые физические величины: скорость течения, направление течения, глубину и температуру.

В зависимости от необходимой точности измерительных каналов, состава поставляемых аксессуаров, а также количества заказываемых приборов, диапазон цен может колебаться от 150 до 800 тыс. руб.

Дополнительные аксессуары, которыми оснащается прибор, приведены ниже.

1. Сменные направляющие хвостовики различной конструкции позволяют ориентировать прибор по потоку, а также обеспечивать стабилизацию прибора в потоке, кроме того есть возможность использования прибора без хвостовика.

2. Приборы оснащены выносным креплением для штанги, через полость которой проходит кабель. Размер штанги может быть равен 0,5–3 м по желанию заказчика. Штангу с прибором можно использовать при работе в стесненных условиях (сточных трубах, колодцах и т.д.).

3. Набор кронштейнов позволяет использовать приборы со стандартной гидрометрической штангой и имеется крепление для миништанги, использующейся при работе на мелководье.

4. Дополнительно имеется обруч со стопорными винтами для скользящего крепления прибора, позволяющий использовать прибор с гидрометрической штангой, при помощи обруча прибор можно перемещать вдоль штанги и фиксировать его на нужной глубине.

5. Универсальный герметичный разъем позволяет использовать прибор с различными видами кабелей.

6. Каретка с подвижным грузом позволяет проводить балансировку положения прибора с различными видами грузов и хвостовиками при тросовом креплении прибора

7. Бортовой блок измерителя сохраняет свою работоспособность при воздействии внешних влияющих факторов, приведенных в таблице 1.

Таблица 1. Условия эксплуатации

Влияющий фактор	Значение
Температура окружающего воздуха, °С	от минус 30 до плюс 50
Атмосферное давление, мм рт. ст.	от 630 до 800
Относительная влажность при температуре окружающего воздуха 35°С, %	от 10 до 70
Частота вибраций при максимальном ускорении 20 м/с, Гц	95

В зависимости от требований заказчика, приборы серии комплектуются измерительными каналами с различной точностью согласно таблицам 2 и 3.

Таблица 2. Метрологические характеристики ИСТ-1

Измеряемый параметр	Диапазон измерения	Случайная погрешность	Погрешность
Гидростатическое давление, кПа (глубина, м)	0 ÷ 50 (0 ÷ 5) 0 ÷ 100 (0 ÷ 10) 0 ÷ 250 (0 ÷ 25)	±0,3% (±0,4%)	±1,6% (±2%)

Скорость течения, м/с	0,01 ÷ 5,00	±0,001	±0,01
Температура воды, °С	-2 ÷ +35	±0,1	±0,6
Направление течения, град	0 ÷ 360	±0,5	±2,5

Таблица 3. Метрологические характеристики ИСТ-1М

Измеряемые и расчетные параметры	Диапазон измерения	Случайная погрешность	Полная погрешность
Гидростатическое давление, кПа (глубина, м)	0 ÷ 50 (0 ÷ 5) … 0 ÷ 10000 (0 ÷ 1000)	±0,01%	±0,1%
Скорость течения, м/с	0,001 ÷ 5,00	±0,001	±0,01
Температура воды, °С	-2 ÷ +35	±0,01	±0,02
Направление течения, град	0 ÷ 360	±0,5	±2,5
Скорость звука, м/с	1400 ÷ 1600	±0,02	±0,2
Соленость, ‰	0 ÷ 40	±0,01	±0,04
Плотность, кг/м^3	994 ÷ 1062	±0,01%	±0,1%

Технические характеристики ИСТ-1 и ИСТ-1М приведены в таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики ИСТ-1 и ИСТ-1М

Параметр	Значение
Период опроса всех каналов, с	от 0,04
Интервал осреднения, с	от 1 до 100 (номинально 30)
Тип интерфейса	RS232
Дальность связи между бортовым и погружным блоками, м	до 50 (стандартный кабель – 5)

Питание от сети переменного тока 50 Гц (телеметрический режим), В	~220
Диапазон напряжения питания постоянным током (автономный режим), В	9÷12
Потребляемая мощность, Вт	1
Габаритные размеры, мм – погружной блок – бортовой блок	 ∅150x150x400 45x85x165
Масса, кг – погружной блок – бортовой блок	 2 1

Измерения приборами серии ИСТ в полевых условиях, с судна и использование в автономном варианте может основываться на разработанных и утвержденных методиках для вертушечных и акустических приборов.

Сравнение приборов серии ИСТ с зарубежным аналогом «Flowtracker» показало, что аналог при своих достоинствах не обладает такой многофункциональностью: широким диапазоном измерения по глубине, определению направления и температуры.

Прибор ИСТ-1 прошел Государственные контрольные испытания и занесен в реестр измерительных средств Украины. Выпущена партия этих измерителей. Приборы ИСТ-1 несколько лет используются на сети гидрологических постов Государственной гидрометеорологической службы МЧС Украины и в различных подразделениях водного хозяйства, а также в международной компании ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Осуществлялись одиночные поставки в Африканские страны, в частности, в Гвинею, где прибор успешно работает в тропической зоне. Всего выпущено порядка 160 штук в различной комплектации. Поддерживается гарантийное и сервисное обслуживание. Специальной подготовки для работы с приборами не требуется, достаточно изучить эксплуатационные документы. Для заказчиков проводятся дистанционные консультации.

Литература

1. Guide to Hydrological Practices: Vol. I: Hydrology – From Measurement to Hydrological Information, 2008, WMO 168, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

2. Греков Н.А., Греков А.Н. Измерители скорости течения для морских и речных условий ИСТ-1 и ИСТ-1М // Морской гидрофизический журнал. – 2010. – № 2. – С. 77–84.

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА КУЛТУЧНОГО (Г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ): ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Гречушникова М.Г.[1,2], Чалов С.Р.[1], Улатов А.В.[3], Школьный Д.И.[1], Цыпленков А.С.[1], Морейдо В.М.[2]
[1] Географический факультет МГУ, Москва, Россия
[2] ИВП РАН, Москва, Россия
[3] КамчатНИРО, Петропавсовск-Камчатский, Россия

HYDROECOLOGICAL CONDIDION OF KULTUCHNOE LAKE (PETROPAVLOVSK-RAMCHATSKIY): HYSTORY, MODERNITY AND PROSPECTS

Grechushnikova M.G.[1,2], Chalov S.R.[1], Ulatov A.V.[3], Shkolniy D.I.[1], Tsyplenkov A.S.[1], Moreido V.M.[2]
[1] Geographical faculty, Moscow, Russia
[2] IWP RAS, Moscow, Russia
[3] KamchatNIRO, Ptropavlovsk-Kamchatskiy, Russia

В статье приведены результаты исследований изменения гидроэкологического состояния озера Култучного, являющегося ценным рекреационным объектом в исторической части г. Петропавловск-Камчатский. Комплексная съемка озера включала исследование его батиметрии, притока и стока, отбор проб озерной воды и коллекторно-дренажных вод, попадающих в водоем, исследование обменных процессов на границе «вода-донные отложения» и содержания и эмиссии метана в атмосферу. Сравнение с данными 1990 г. показало улучшение состояния озера по многим показателям. Разработаны рекомендации для реабилитации озерной экосистемы.

The article presents the results of research on changes in the hydroecological state of lake Kultuchnoe, which is a valuable recreational object in the historical part of Petropavlovsk-Kamchatsky. The complex survey of the lake included the study of its bathymetry, inflow and outflow, sampling of lake water and collector-drainage water entering the reservoir, the study of exchange processes at the "water-bottom sediments" border and the content and emission of methane into the atmosphere. Comparison with the data from 1990 showed improvement of the lake's condition in many indicators. Recommendations for rehabilitation of the lake ecosystem have been developed.

Введение

Озеро Култучное относится к озерам лагунного типа и расположено в историческом центре г. Петропавловска-Камчатского. Площадь и объем озера в связи с хозяйственной деятельностью человека неоднократно сокращалась при засыпке. В начале 90-х гг. прошлого столетия в северо-западная часть озера была отсечена гравийной дамбой Озеро оказалось разделено на два водоема – Большое и Малое Култучное озера. Площадь водного зеркала обоих озер около 2 км^2. Максимальная глубина Большого – 7 м, Малого – 1,2 м.

Согласно данным наблюдений водоем освобождается ото льда в конце апреля, а ледостав наступает в конце ноября. В период открытой воды в водоеме формируется прямая стратификация, причем в наиболее глубоководной его части в течение лета в придонных горизонтах сохраняется низкая температуры воды и наблюдается дефицит кислорода. Расслоение связано с недостаточной длиной разгона ветра для перемешивания озера до дна и создаем предпосылок к образованию бескислородных

условий ниже границы перемешанного слоя (2-3 м), которая может разрушаться при осеннем похолодании и конвективном перемешивании водной толща до дна. Выявлен систематический сброс хозяйственно-бытовых и дренажных сточных вод в озеро Култучное через ливневые коллекторы, имеющие три выпуска в литоральной части Большого озера и один в Малое озеро. В летний период 2019-2020 гг. исследовалось качество воды, как в самих озерах, так и в притекающих коллекторных водах (КВ), а также состояние грунта и содержание и эмиссия метана в озерах.

Результаты и обсуждение

Илистые донные отложения на станциях отбора имели однородный состав, оливковый цвет. На глубоководной станции в центре Большого озера присутствовали черные включения, что

Рис. 1 Схема расположения притоков КВ оз. Култучное.

свидетельствует о периодических аноксидных условиях у дна. Гигроскопическая влажность грунта относительно невелика (3,9-5,8%), при этом содержание ОВ достигает 14,4,-16,9%, что свидетельствует об активной минерализации органических остатков.

На момент отбора проб наиболее мутная вода поступала через коллекторы Север-1 и Южный. Во всех притоках выявлено превышение ПДК по $БПК_5$ от 1,5 до 5 раз, по ХПК до 7 раз и по общему железу – до 25 раз в коллекторе Север-1. Ион аммония превышает ПДК в коллекторах Южный и Север-1 в 28 и 2,4 раза. По нитритам, нитратам и фенолам превышение не наблюдается. СПАВ в 1,3 раза выше ПДК в Южном коллекторе, а нефтепродукты в 1,5 и 5,5 раз выше ПДК в Западном и Южном коллекторах. В итоге наиболее загрязненная вода попадает со стоком коллекторов Южный и Север-1 в Большое Култучное озеро. По содержанию хрома превышение ПДК не наблюдается, содержание марганца незначительно превышало ПДК в коллекторах Западный и Север-2 и более, чем в 20 раз превышало ПДК в коллекторе Север-1. По содержанию свинца превышение ПДК составило от 1,3 до 2 раз, цинка от 1,4 до 2,3 раз и меди от 4,2 до 16,5 раз по всех притоках. Наиболее загрязнен тяжелыми металлами приток по коллекторам Север-1 (свинец, марганец) и Север-2 (медь, цинк).

По результатам гидрохимических анализов в воде озер в 2020 г. на момент отбора проб наблюдается превышение ПДК по $БПК_5$ в 2-3 раза. Отмечается снижение ХПК по сравнению с 2019 г., но превышение ПДК при этом сохраняется. В 2020 г. обнаружено превышение ПДК по общему железу в 3-4 раза (однако токсичность соединений железа зависит от pH, щелочная среда увеличивает опасность отравления рыб, но в озерной воде Большого озера реакция нейтральная, а в Малом pH=8,4-8,8). В 2020 г. отсутствует превышение ПДК по иону аммония. Отмечается снижение содержания нитрит-иона и нитрат-иона (для первого ниже ПДК). В Малом озере в 2020

г. нет превышения ПДК по нефтепродуктам и фенолам. Содержание тяжелых металлов в озерной воде превышает ПДК в 1,5-2,3 раза для свинца, 4,3-26,1 раз для меди и 1,4-8,2 для цинка. Содержание хрома ПДК не превышает, а содержание марганца выше ПДК только в придонной пробе воды на станции 2, что связано с обменными процессами при дефиците кислорода.

Фосфор – важный биогенный элемент, количество которого определяет продуктивность водной экосистемы. По содержанию минерального фосфора (более 10 мкг/л) водные массы не испытывают лимитирования для развития биоты. В Большом Култучном озере содержание минерального фосфора в придонных горизонтах составляет 74-163 мкг/л, валового – 155-191 мкг/л. Наибольшее его содержание характерно для наиболее глубоководной станции из-за обменных процессов с донными отложениями в условиях дефицита кислорода. Бескислородные условия способствуют выходу из донных отложений фосфора, железа и марганца. Это подтверждает повышенное содержание марганца в пробе придонной воды 25.07.20, которое на порядок превышало содержание в других пробах озерной воды, а также повышенное содержание минерального фосфора в 1,5-2 раза превышающее значения в придонных пробах на станциях глубиной до 3 м. В Малом Култучном озере содержание минерального и валового фосфора ниже – 35 и 60 мкг/л соответственно, что может быть связано с более активным процессом его потребления высшими водорослями, которыми водоем зарос почти полностью.

Для изучения интегрального потока метана с поверхности воды использовался метод «плавучих камер» [1]. Для определения содержания метана в пробах воды и воздуха использовался метод фазово-равновесной дегазации РД 52.24.512-2002 [2]. Содержание метана в поверхностном слое воды Большого Култучного озера 51-58 мкл/л, а в придонном 75-238 мкл/л. Наименьшее его количество характерно для станции наибольшей глубиной и наиболее низкой температурой воды, при которой метаногенез происходил менее активно. Наиболее велико содержание метана в Малом Култучном озере (210 и 353 мкл/л на поверхности и у дна), что свидетельствует об активном метаногенезе и возможном загрязнении воды.

Эмиссия метана также наиболее велика с поверхности малого озера (37,4 мгС/м^{2}час), что обусловлено и высоким его содержанием в воде и малой (до 1 м) глубиной. Для Большого Култучного озера наименьший поток метана характерен с глубоководной зоны с наличием стратификации (1,7 мгС/м^{2}час), для северной и южной частей озера удельный поток метана составил 9,7 и 20,7 мгС/м^{2}час. Согласно классификации, предложенной в [3] по содержанию метана в воде озера относятся к категории загрязненных водных объектов, причем Малое озеро в большей степени

Донные отложения – важная часть водной экосистемы. На границе раздела «вода–донные отложения» постоянно происходит обмен взвешенными и растворенными веществами [4]. Помимо того, что донные отложения аккумулируют вещества, в них непрерывно происходят химические и биологические процессы.В исследуемых грунтах [5] скорость аэробной деструкции ОВ оказалась достаточно высокой (11-88-450 мгС/м^{2}сут в Большом Култучном озере и 407 в Малом Култучном озере). Наименьшее ее значение на станции 1 может быть связано с угнетением донного комплекса из-за загрязнений, поступающих через северные коллекторы. На станции 2 процессы протекают менее активно из-за низкой температуры придонной воды при наличии устойчивой стратификации, которая не разрушается при конвективном и динамическом перемешивании в летний период. Общая деструкция в 1,5-2 раза превышает аэробную (835-1890 мгС/м^{2}сут). Таким образом, вклад ДО в процесс разложения ОВ значителен.

Поток фосфора из донных отложений оказался относительно невелик – 2-14 мгР/м^{2}сут, но содержание минерального фосфора в придонных горизонтах значительно (74-163 мкг/л в Большом и 35 мкг/л в Малом озере), что говорит о наличии достаточного питания для развития фитопланктона, которые могут привести к вспышкам цветения. Однако дно озер (особенно Малого) в значительной степени заросло высшей водной растительностью, которая является конкурентом фитопланктона за биогенные вещества. Наименьшее содержание фосфора в Малом озере свидетельствует об активном его потреблении высшей водной растительностью, которой зарос водоем. Выход метана из ДО также сравнительно велик 10-265 мгС/м^{2}сут (несмотря на то, что на мелководных станциях придонные горизонты аэрированы). Причем наибольшее значение диффузионного потока из ДО характерно для станции 1, что указывает на вероятное загрязнение грунтов в ареале выпуска из коллекторов.

Сравнение современного качества воды с ретроспективными материалами

По материалам гидролого-гидрохимической съемки в августе 1990 г. [5] качество воды в Большом Култучном озере было существенно хуже современного: превышение ПДК по фенолам составляло 20 раз, по нефтепродуктам 60 раз. Содержание тяжелых металлов было в норме с локальными небольшими превышениями ПДК. В воде были обнаружены яйца аскарид, а коли-индекс превышал 10000, что говорит о загрязнении хозяйственно-бытовыми сточными водами. Согласно материалам отчета 1990 г. сброс сточных вод происходил порядка 13 раз в год и имел место в течение суток и более. Объем сточных вод оценивался в 65690 м^3/год (преимущественно от жилых массивов и автохозяйств, что и обусловливало особенности состава загрязнения бытовыми и производственными водами). Суммарный приток взвешенных веществ оценивался в 102000 кг/год, нефтепродуктов в 12000 кг/год. В 1990 г отмечалась низкая прозрачность воды.

В современный период наблюдается снижение $БПК_5$, иона аммония, нитритов, нитратов, фенолов и нефтепродуктов, взвешенных веществ, растворенного кислорода. Снижение последнего показателя может быть связано как с уменьшением продукционной активности, так и с различием погодных условий в период отбора проб и измерений. Значение ХПК осталось на прежнем уровне. В 2020 г возросло содержание железа (возможно из-за проводящихся строительных работ на северо-западном берегу озера). В целом по сравнению с условиями, имевшими место 30 лет назад, отмечается улучшение состояния водной экосистемы и снижение уровня загрязнения. Это связано с проведением реконструкции систем городской канализации, в 2000-х годах выпуск хозяйственно-фекальных и производственных сточных вод прекратился. Этому способствовало возобновление работы канализационной насосной станции (КНС) «Спартак», прекратившее попадание в озеро около 160 м^3/час сточных вод городской канализации [6]. Неоднократно наблюдались случаи несанкционированного попадания хозяйственно-фекальных и производственных сточных вод в сети дождевой канализации, в том числе имеющей выпуски в озеро Култучное. Именно с этими случаями может быть связано продолжающееся превышение ПДК по некоторым показателям.

Перспективы развития озерной экосистемы

Основная задача в сложившейся ситуации – это очистка дренажного и поверхностного притока в озеро, для чего перспективно организовать фито-очистные сооружения или гидроботаническую площадку, а также создание водоохранной зоны вокруг водоемов. Одним из технологических решений может быть перенаправление дренажных коллекторов из Большого озера в Малое и реконструкция Малого озера в биоплато для очистки поступающих вод с последующей фильтрацией очищенных вод в

Большое озеро. Восстановление деградированных природных экосистем и поддержание их устойчивости, используя природный механизм самоочищения это перспективный метод, который рекомендуют отечественные и зарубежные специалисты. [7, 8, 9, 10].

В случае сохранения местоположения водовыпусков северных коллекторов следует организовать ГБП в Большом озере на акватории, прилегающей к коллекторам (в северной части) и в Малом озере в районе выпуска коллектора. Перед этим Малое озеро необходимо углубить и расчистить от избыточных водорослей и плавающих макрофитов. Сброс из Южного коллектора направить в приемную камеру-отстойник в северной части озера. В проект необходимо добавить регулируемую подпитку водоемов очищенной водопроводной водой для разбавления и улучшения водообмена. В обоих вариантах необходимо произвести расчистку кульверта, уборку мусора с берегов и дна озер, уборку отмершей древесной растительности на берегах и на острове в Малом озере.

Литература

1. Bastviken D., Cole J., Pace M., Tranvik L. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate // Global Biogeochem. Cycles. 2004. Vol. 18. GB4009].
2. Большаков А.М., Егоров А.В. Результаты газометрических исследований в Карском море // Океанология. — 1995. — Т. 35. — № 3. — С. 399-404.
3. Метан в водных экосистемах. М.; Ростов/Дону: Копицентр, 2005, 329 с.
4. Отчет о работе координационного Совета по комплексному исследованию текущего состояния среды Култучного озера и прилегающих к нему районов Авачинской губы. Всероссийское общество охраны природы. Камчатский областной совет. Петропавловск-Камчатский, 1990.
5. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л: «Наука», 1985. 294 с.
6. Экологическое состояние озера Култучное, меры по его улучшению и возможности хозяйственного использования. Сборник докладов научно-практической конференции – Петропавловск-Камчатский: Изд-во «Камчатпресс», 2017.
7. Верещагина И.Ю., Василевская Н.В. Искусственное биоплато в Арктических широтах // Экология производства. 2004. № 4. С. 18–21.
8. Кривицкий С.В., Станис Е.В., Бирчак Т.Н. Экологическая реабилитакция водоемов с использованием биоинженерных методов // Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности, 2010, №5. С. 77-82.
9. Рыбка К.Ю., Щеголькова Н.М. Механизмы очистки сточных вод от биогенных элементов (азота и фосфора) в фито-очистных системах// Экосистемы: экология и динамика, 2018, том 2, № 4, с. 144-171.
10. Семенов С.Ю., Шелепова Л.И. Водно-болотная очистка сточных вод // Безопасность жизнедеятельности. 2008. № 1. С. 37–38.

ИНЕРЦИОННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ БАЛАНСОМЕРА (НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ)

Григоров Н.О., канд. физ.-мат. наук, Санкт-Петербург, Россия
Никитина В. С., студентка РГГМУ, Санкт-Петербург, Россия

INERTIA ERROS OF BALANSOMETER (UNSTABLE MODEL)

Grigorov N. Cand. Sc., Ass. Professor, Saint-Petersburg, Russia
V. Nikitina, student, RSHU, Saint-Petersburg, Russia

В работе содержится вывод формулы инерционной погрешности балансомера для случая изменчивости радиационного баланса по линейному закону (нестационарная модель). Показано, что в этом случае показания балансомера отстают от значения истинного радиационного баланса на величину, значение которой можно определить. Таким образом, появляется возможность автоматической коррекции показания балансомера при изменяемом радиационном балансе. Результаты работы можно использовать при составлении компьютерных программ автоматической коррекции показаний балансомера.

This work contains derivation of formula for inertia errors of balansometer when radiation balance is varied by linear law (unstable model). It's shown that in this case balansometer data lags out of natural radiation balance by the value that can be calculated. So there is possibility to correct balansometer data automatically if radiation balance is varied. Work results can be used to compose computer programs for automatic correction of balansometer data.

В работе «Чувствительность и тепловая инерция актинометрических приборов» [1] был проведён вывод уравнения балансомера для стационарного состояния, то есть при постоянном значении радиационного баланса. В этом случае по происшествии достаточно большого времени после начала измерений (порядка 1 минуты) балансомер показывает постоянное значение и инерционная погрешность в данном случае равна нулю. Однако, в природе радиационный баланс постоянно меняется, и в этом случае балансомер показывает правильное значение с запаздыванием во времени [2]. С этим связано появление отличной от нуля инерционной погрешности.

Для вычисления инерционной погрешности необходимо вывести уравнение балансомера для нестационарного состояния, то есть при изменяющемся радиационном балансе.

Прежде всего предположим, что радиационный баланс изменяется по линейному закону:

$$B_{\text{ист}} = B_0 + \kappa\tau, \qquad (1)$$

где $B_{\text{ист}}$ – радиационный баланс;
B_0 – радиационный баланс в начальный момент времени;
к – скорость изменения радиационного баланса;
τ – время.
Воспользуемся уравнением из работы [1]:

$$mc\frac{d(T_1 - T_2)}{d\tau} = -S\left(\alpha + \frac{2\gamma}{z}\right)(T_1 - T_2) + B_{\text{ист}}S, \qquad (2)$$

где m – масса балансомера;

c – удельная теплоёмкость вещества, из которого состоит балансомер;

T_1, T_2 – температура верхней и нижней пластин балансомера соответственно (далее T_1-T_2 = ΔT);

S – площадь пластины балансомера;

α – коэффициент конвективного теплообмена между балансомером и окружающим воздухом;

γ – коэффициент внутреннего теплообмена между верхней и нижней пластинами балансомера;

z – толщина балансомера [2].

Разделим уравнение (2) на величину $S\left(\alpha+\frac{2\gamma}{z}\right)$ и введём следующие константы:

$$\frac{mc}{S\left(\alpha+\frac{2\gamma}{z}\right)}=A=const;\ \frac{B_0}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}}=D=const;\ \frac{\kappa}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}}=G=const$$

С учётом введённых обозначений получаем:

$$A\frac{d\Delta T}{d\tau}=(G\tau-\Delta T)+D \qquad (3)$$

Решение этого уравнения сводится к виду:

$$\Delta T=(\Delta T_0+AG-D)e^{-\frac{\tau}{A}}-AG+\frac{B_{ист}}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}} \qquad (4)$$

Возвращаясь к первоначальному виду введённых констант A, G, D, получаем:

$$\Delta T=(\Delta T_0+\frac{mc\kappa}{S\left(\alpha+\frac{2\gamma}{z}\right)^2}-\frac{B_0}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}})e^{-\frac{\tau}{\frac{mc}{S\left(\alpha+\frac{2\gamma}{z}\right)}}}-\frac{mc\kappa}{S\left(\alpha+\frac{2\gamma}{z}\right)^2}+\frac{B_{ист}}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}} \qquad (5)$$

Заметим, что, как и в случае стационарной модели [1], знаменатель экспоненты формулы (5) имеет размерность времени и представляет собой коэффициент тепловой инерции балансомера λ:

$$\lambda=\frac{mc}{\left(\alpha+\frac{2\gamma}{z}\right)\cdot S} \qquad (6)$$

Это выражение полностью совпадает с выражением для коэффициента тепловой инерции, полученным при рассмотрении стационарной модели. Подставив в формулу (5) выражение для λ, получаем:

$$\Delta T=\Delta T_0e^{-\frac{\tau}{\lambda}}+\left(\frac{\kappa\lambda}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}}-\frac{B_0}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}}\right)e^{-\frac{\tau}{\tau}}-\left(\frac{\kappa\lambda}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}}-\frac{B_0}{\alpha+\frac{2\gamma}{z}}\right) \qquad (7)$$

Или:

$$\Delta T = \Delta T_0 e^{-\frac{\tau}{\lambda}} + \left(\frac{\kappa\lambda}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} - \frac{B_0}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} \right) (e^{-\frac{\tau}{\tau}} - 1) \qquad (8)$$

Полученное выражение (8) позволяет проанализировать как чувствительность, так и инерционную погрешность балансомера.

Для вывода формулы чувствительности балансомера предположим, что B = *const (к = 0)*, а $\tau \to \infty$, т. е. показания балансомера стабилизировались. Тогда из формулы (8) получаем:

$$\Delta T = \frac{B_0}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} \qquad (9)$$

Опуская индекс при B_0 (т. к. B = *const),* имеем:

$$\Delta T = \frac{B}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} \qquad (10)$$

Как и в случае стационарной модели, будем понимать под чувствительностью балансомера изменение разности температур между пластинами ΔT при изменении теплового баланса на единицу, т.е.:

$$S_б = \frac{d(\Delta T)}{dB} = \frac{1}{\alpha + \frac{2\gamma}{z}} \qquad (11)$$

Это совпадает с полученной ранее формулой в работе [1].

Для исследования инерционной погрешности балансомера обратимся к формуле (5). Примем во внимание, что:

$\Delta T \cdot \left(\alpha + \frac{2\gamma}{z} \right) = B_б$, то есть показания балансомера

$\Delta T_0 \cdot \left(\alpha + \frac{2\gamma}{z} \right) = B_0$, то есть радиационный баланс в начальный момент времени.

Умножив обе части формулы (5) на сумму $\left(\alpha + \frac{2\gamma}{z} \right)$, получаем, с учётом формулы (10):

$$B_б = (B_0 + \kappa\lambda - B_0) e^{-\frac{\tau}{\lambda}} - \kappa\lambda + B_{ист} \qquad (12)$$

где $B_б$ следует понимать как показания балансомера, рассчитанные на основе разности температур между пластинами ΔT. В случае нестационарной модели значения $B_б$ и $B_{ист}$ не совпадают. Разность между ними следует понимать, как инерционную погрешность балансомера.

Перепишем формулу (12) в виде:

$$B_б = \kappa\lambda \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda}} - \kappa\lambda + B_{ист} \qquad (13)$$

Откуда получаем:

$$B_{ист} - B_б = \kappa\lambda \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\lambda}}) \qquad (14)$$

Из формулы (14) видно, что в левой части стоит выражение, представляющее собой инерционную погрешность балансомера, т.е. разность между истинным значением радиационного баланса и показаниями прибора. При $\tau \to \infty$ эта разность равна произведению $\kappa\lambda$:

$$B_{ист} - B_б = \kappa\lambda \qquad (15)$$

Для наглядности представим эскиз графика зависимости радиационного баланса и показаний балансомера от времени.

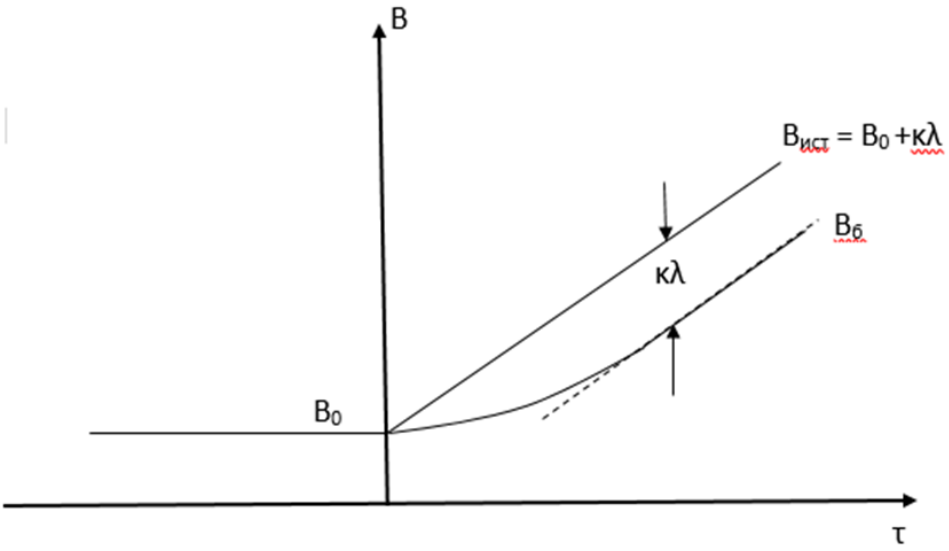


Рис. 1. Зависимость истинного радиационного баланса $B_{ист}$ и показаний балансомера $B_б$ от времени.

Таким образом, инерционная погрешность балансомера становится равной величине $\kappa\lambda$ по прошествии достаточно большого времени с момента начала изменения истинного радиационного баланса.

Полученные формулы позволяют провести коррекцию показаний балансомера при автоматической обработке результатов измерения.

Литература

1. Чувствительность и тепловая инерция актинометрических приборов. Григоров Н. О., Никитина В. С. Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», имени Л. Н. Карлина. 18-19.12.2019 г. Санкт-Петербург.
2. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. РГГМУ, С-Пб, 2012. – 306 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СТРАТЕГИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЭФФЕКТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К НЕБЛАГОПРИЯТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Григорьева Е.А.
Институт комплексного анализа региональных проблем Дальневосточного отделения российской академии наук, г. Биробиджан, Россия

VARIOUS STRATEGIES FOR URBAN OPTIMIZATION TO REDUCE THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURES AND HUMAN ADAPTATION

Grigorieva E.A.
Institute for Complex Analysis of Regional Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Birobidzhan, Russia

Выявлены основные методы определения риска для здоровья человека при прохождении волн жары и предложенные методики адаптации к их неблагоприятному воздействию с помощью природных технологий.

The main methods of determining the risk to human health during the heat waves are identified, and methods of adaptation to their adverse effects using nature-based solutions are reviewed.

Введение. С точки зрения безопасности жизнедеятельности, опасность может быть определена как потенциальный источник ущерба или вреда для людей и окружающей среды [1]. Опасности могут быть природными (например, лесной пожар, оползень) или антропогенными (например, химические вещества, радиоактивные материалы). Воздействие означает столкновение с опасностью, которая негативно воздействует на здания, инфраструктуру в целом, население и окружающую среду, при этом под уязвимостью понимается чувствительность различных частей системы к определенной опасности [2]. Опасность (или бедствие, вызванное опасностью) создает риск для общества и экосистемы в данный период, основанный на степени подверженности этой опасности, уязвимости пострадавших людей, имущества или окружающей среды [2], а также их устойчивость или способность к адаптации в ответ на опасность. Риск – это возможность наступления нежелательного события (например, шторма), смерти (индивидуальный риск) и любого другого вида вероятных потерь [1,2]. Опасности атмосферного, гидрологического или океанографического происхождения называются гидрометеорологическими опасностями (ГМО) [1,3,4]. Гидрометеорологический риск определяют как вероятность ущерба или вредных последствий в определенный период времени из-за ГМО и его взаимодействия с уязвимостью, подверженностью и способностью пострадавших людей и экосистем к адаптации [3-8].

В связи с глобальным потеплением и изменением климата в целом продолжительность, масштабы и частота связанных с климатом рисков, включая волны жары и холода, наводнения, береговую эрозию, оползни и др. [9-12]. Для управления этими рисками, смягчения их последствий, уменьшения потерь и ущерба требуются долгосрочные, экономически эффективные и экологически устойчивые решения. Реализация природных технологий (ПТ), вдохновленных и поддерживаемых природой, потенциально может снизить риск экстремальных гидрометеорологических явлений и одновременно обеспечить экологические, социальные и экономические выгоды и помочь повысить устойчивость [12-17]. ПТ – это концепция, предлагающая значительные экономически эффективные методы, но не предполагающая структурные вмешательства (например, бетонные здания) [15]. Концепция ПТ тесно связана с

устойчивостью, гармоничным и экологичным развитием, рациональным использованием ресурсов, приоритетами экологической защиты.

Цель работы состоит в изучении основных методик оценки риска волн жары и управления рисками с помощью природных технологий.

Материалы и методы. Основной метод исследования – поиск литературы с применением электронных баз данных Web of Science, Scopus, Pubmed и eLibrary, ориентируясь на рецензируемые журнальные статьи, опубликованные на английском и русском языках, с 2000 по 2020 г.: систематические и библиометрические обзоры, а также оригинальные статьи. Использовались ключевые слова: «волна жары», или «жаркая погода», или «высокая температура», а также «риск», или «оценка риска», а также «природные технологии» (“Nature-based solutions” – на английском).

Результаты. Несмотря на многочисленные исследования последних лет, до сих пор не существует общепринятого определения волн жары [18-23], поскольку акклиматизация и адаптация населения могут варьироваться для разных климатических условий и разных регионов [19,24]. Критический обзор литературы показывает, что наибольшее распространение получили методы на основе относительного подхода, т.е с использованием отклонения от базовой величины, например, процентилей [18-21,25], фиксированные пороговые уровни [26] с уточнением длительности экстремальных температурных явлений [18,20,25]. Волны жары определяются как периоды чрезвычайно жаркой погоды, обычно более двух-трех дней, которые влияют на здоровье человека, социально-экономические и природные системы [18,20,21,25,26].

Начало XXI века ознаменовалось целым рядом экстремальных событий, в первую очередь волны жары в Европе в 2003 г. и в России в 2010 г. [27,28]. В последние годы Австралия, юго-запад США, Индия, Пакистан и Ближний Восток также стали свидетелями аномальной жары. В связи с повышением глобальных температур и изменением климата ряд исследований прогнозирует увеличение числа, частоты и интенсивности экстремальных тепловых явлений в будущем [2,10,11], при которых повышается заболеваемость и смертность людей [18-21,24,25,28-30], случаи госпитализация [31] и другие воздействия на здоровье. Риск для здоровья от волн жары зависит от индивидуальных факторов, в первую очередь от пола и возраста [24]. Волны жары наиболее опасны в урбанизированных территориях из-за более высокой плотности населения, антропогенных тепловых выбросов и повышенного эффекта городского теплового острова.

Методы оценки риска волн жары. Выделяется четыре основных группы методов определения вероятности возникновения и опасности волн жары. Прежде всего, используются методы математического/статистического моделирования: определение воздействия на здоровье с использованием регрессионного анализа временных рядов [18,20,25]; модель нечеткой логики искусственного интеллекта [32]; сочетание функционального анализа данных с теоремой экстремальных значений [23]; стохастический метод оценки вероятности и средней продолжительности волн жары [33].

Во-вторых, это определение рисков и уязвимости волн жары на основе ГИС технологий. Во многих работах оценка риска жары проводится с использованием спутниковых данных высокого пространственного временного разрешения о температуре воздуха в сочетании с основными социально-демографическими факторами, характеризующими уязвимость от жары (тип жилья, плотность населения, возраст, болезни, социально-экономический статус, социальная изоляция и статус этнических меньшинств) [5-6,34].

В-третьих, для оценки риска воздействия волн жары на здоровье человека используются данные о смертности и здоровье населения. В терминах относительного

риска дается количественная оценка связи между увеличением смертности и заболеваемости с одной стороны, и волнами жары с другой, с кумулятивным и запаздывающим эффектами [24,29,31]. Рассмотрены вариации в эффекте смертности из-за различных определений волн жары [22].

Кроме того, риск волн жары для сценариев будущего климата изучается с использованием прогнозных климатических моделей [9,11]. Были предложены определения локальных волн жары, необходимые для защиты и предотвращения гибели людей от неблагоприятного воздействия волн жары в будущем [31].

Природные технологии для управления рисками. Для успешного управления гидрометеорологическими опасностями необходимо (1) охарактеризовать риски и оценить их с помощью соответствующих методик; планировать готовности к риску с помощью (2) технических контрмер, (3) систем раннего предупреждения и (4) смягчения последствий риска после наступления события [13]. Приоритетными направлениями в управлении риском являются заблаговременное планирование и принятие необходимых мер. Традиционно для снижения риска или его последствий используются инженерные решения, например, использование кондиционеров и вентиляторов для смягчения жары [35]. Эти решения эффективны, но являются дорогостоящими, энергоемкими, зачастую наносят вред экосистеме и не связаны с окружающей средой. В этом случае природные технологии экономически более эффективны, менее энергозатратны и безвредны для экосистем.

Природные решения, разрабатываемые на основе использования растительности для смягчения влияния жары, называются «зелеными» стратегиями [13,36]. Примерами использования зеленого подхода являются леса, парки, уличные деревья и газоны. «Голубые» стратегии включает использование водоемов, прудов, водно-болотные угодий, рек, озер и др. [36] Если зеленые и синие ПТ применяются в сочетании со строительными конструкциями, они называются гибридными подходами. Это, например, биостены, пористые тротуары, зеленые крыши, дождевые сады и дренажные системы [36,37]. Эти ПТ основаны на управлении энергией наружного воздуха с использованием затенения и скрытого тепла при эвапотранспирации растений и почв: увеличение площади зеленых насаждений приводит к охлаждению температуры атмосферного воздуха и способствует поглощению парниковых газов, в первую очередь углекислого газа [38,39].

Анализ зеленых стратегий выявил следующие варианты их использования. Прежде всего, это городские парки, озеленение городов и зеленая инфраструктура [40,41]. Кроме того, необходимо учитывать, что в густонаселенных районах более эффективна с точки зрения уменьшения городского острова тепла посадка уличных пород деревьев с высоким потенциалом охлаждения [42]. В качестве гибридных технологий с использованием зеленых насаждений эффективны зеленые стены и крыши [43-46]. Еще одним интересным решением для управления тепловыми рисками может быть использование «серых» технологий, или инновационные материалы с характеристиками высокого солнечного отражения и низкого тепловыделения [47], например, отражающих «холодных» крыш [48].

Выводы. Рассмотрены методы оценки риска волн жары, учитывающие характеристику воздействия, уязвимости и адаптационного потенциала. Выполнен обзор литературы по воздействию волн жары на здоровье человека в глобальном масштабе; выявлены уязвимые группы населения и определены мероприятия для снижения теплового воздействия экстремально высоких температур. Уточнено, что риск волн жары зависит от типа используемого определения. Наряду со статистическими, математическими и вычислительными методами, для выявления уязвимых объектов широко используются ГИС-технологии. Для минимизации рисков

волн жары и эффекта городского острова тепла наиболее эффективно использование зеленых и серых технологий.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта № 18-013-00923.

Литература

1. Гафнер В.В. Основы безопасности жизнедеятельности: понятийно-терминологический словарь / В.В. Гафнер. М.: ФЛИНТА: Наука, 2016. 280 с.
2. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. R.K. Pachauri and L.A. Meyer, Eds., IPCC, 2014, 151 pp. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
3. Mayrhuber E.A.-S., Dückers M.L.A., Wallner P., Arnberger, et al. Vulnerability to heatwaves and implications for public health interventions – A scoping review // Environmental Research, 2018, 166, 42–54. doi:10.1016/j.envres.2018.05.021
4. Shah M.A.R., Renaud F.G., Anderson C.C. et al. A review of hydro-meteorological hazard, vulnerability, and risk assessment frameworks and indicators in the context of nature-based solutions // Int J Disaster Risk Reduction, 2020, 50, 101728. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101728
5. Wolf T., McGregor G. The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom // Weather and Climate Extremes, 2013, 1, 59–68. doi:10.1016/j.wace.2013.07.004
6. Jedlovec G., Crane D., Quattrochi D. Urban heat wave hazard and risk assessment // Results in Physics, 2017, 7, 4294–4295. doi:10.1016/j.rinp.2017.10.056
7. Depietri Y. The social–ecological dimension of vulnerability and risk to natural hazards // Sustain Sci, 2020, 15, 587–604. Doi:10.1007/s11625-019-00710-y
8. Merz B., Kuhlicke C., Kunz M., et al. Impact Forecasting to Support Emergency Management of Natural Hazards // Reviews of Geophysics, 2020. doi:10.1029/2020rg000704
9. Abadie L.M., Chiaba, A., Neumann M.B. Stochastic diffusion models to describe the evolution of annual heatwave statistics: A three-factor model with risk calculations // Sci. Total Environ., 2019, 646, 670–684. Doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.158
10. Бардин М. Ю., Платова Т. В. Долгопериодные вариации показателей экстремальности температурного режима на территории России и их связь с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции и глобальным потеплением // Метеорология и гидрология, 2019, № 12, 5-19.
11. Виноградова В.В. Тепловое воздействие на территории России в середине XXI века по модельным данным // Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2020, 84 (3), 404-413. Doi:10.31857/S2587556620030115
12. Di Sabatino S., Vojinovic Z., Oen A., et al. Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction // Bull. of Atmos. Sci.& Technol., 2020, 1, 109–111. Doi:10.1007/s42865-020-00007-4
13. Depietri Y., McPhearson T. Integrating the Grey, Green, and Blue in Cities: Nature-Based Solutions for Climate Change Adaptation and Risk Reduction // Nature-based solutions to climate change Adaptation in urban areas. Springer, Cham, 2017, 91-109.
14. Lafortezza R., Chen J., van den Bosch C.K., Randrup T.B. Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. Environmental Research, 2018, 165, 431–441. Doi:10.1016/j.envres.2017.11.038
15. Kalantari Z., Ferreira C. S. S., Deal B., Destouni G. Nature-based solutions for meeting environmental and socio-economic challenges in land management and development // Land Degradation & Development, 2019, 1-4. Doi:10.1002/ldr.3264
16. Dhyani S., Karki M., Gupta A.K. Opportunities and Advances to Mainstream Nature-Based Solutions in Disaster Risk Management and Climate Strategy. In: Dhyani S., Gupta A., Karki M. (eds) Nature-based Solutions for Resilient Ecosystems and Societies. Disaster Resilience and Green Growth. Springer, Singapore, 2020. Doi:10.1007/978-981-15-4712-6_1
17. Ruangpan L., Vojinovic Z., Di Sabatino S., et al. Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 2020, 20, 243–270. Doi:10.5194/nhess-20-243-2020
18. Григорьева Е.А. Волны тепла в Хабаровске и здоровье населения // Изв. СамНЦ РАН, 2014, 16, № 5(2), 843–846.
19. Gasparrini A., Guo, Y., Hashizume M., et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study // Lancet, 2015, 386, 369–375. Doi:10.1016/S0140-6736(14)62114-0
20. Григорьева Е.А. Волны тепла на юге Дальнего Востока и здоровье человека // Информационный бюллетень «Здоровье населения и среда обитания», 2017, 2(287), 11–14.
21. Шапошников Д.А., Ревич Б.А. О некоторых подходах к вычислению рисков температурных волн для здоровья // Анализ риска здоровью, 2018, 1, 22–30. DOI: 10.21668/health.risk/2018.1.03

22. Fenner D., Holtmann A., Krug A., Scherer D. Heat waves in Berlin and Potsdam, Germany – Long-term trends and comparison of heat wave definitions from 1893 to 2017 // Int. J. Climatol., 2019, 39, 2422–2437.
23. French J., Kokoszka P., Stoev S., Hall L. Quantifying the risk of heat waves using extreme value theory and spatio-temporal functional data // Computational Statistics & Data Analysis, 2019, 131, 176-193. doi:10.1016/j.csda.2018.07.004
24. Yang J., Yin P., Sun J., et al. Heatwave and mortality in 31 major Chinese cities: Definition, vulnerability and implications // Sci. Total Environ., 2019, 649, 695–702. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.332
25. Ревич Б.А. Волны жары в мегаполисах и пороги их воздействия на смертность населения. Гигиена и санитария, 2017, 96(11), 1073–8. Doi:10.18821/0016-9900-2017-96-11-1073-1078
26. Hatvani-Kovacs G., Belusko M., Skinner N., Pockett J., Boland J. Heat stress risk and resilience in the urban environment. Sustainable Cities and Society, 2016, 26, 278–288. Doi:10.1016/j.scs.2016.06.019
27. Zhang W., Zheng C., Chen F. Mapping heat-related health risks of elderly citizens in mountainous area: A case study of Chongqing, China // Sci. Total Environ., 2019, 663, 852-866. Doi:10.1016/j.scitotenv.2019.01.240
28. Ревич Б.А., Малеев В.В., Смирнова М.Д., Пшеничная Н.Ю. Российский и международный опыт разработки планов действий по защите здоровья населения от климатических рисков // Гигиена и санитария, 2020, 99 (2), 176-181. Doi: 10.33029//0016-9900-2019-99-2-176-181
29. Kravchenko J., Abernethy A.P., Fawzy M., Lyerly H.K. Minimization of Heatwave Morbidity and Mortality // American Journal of Preventive Medicine, 2013, 44(3), 274–282. doi:10.1016/j.amepre.2012.11.015
30. Campbell S., Remenyi T.A., White C J., Johnston F.H. Heatwave and health impact research: A global review // Health & Place, 2018, 53, 210–218. doi:10.1016/j.healthplace.2018.08.017
31. Xu Z., FitzGerald G., Guo Y., Jalaludin B., Tong S. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis //Environment International, 2016, 89-90, 193–203. doi:10.1016/j.envint.2016.02.007
32. Keramitsoglou I., Kiranoudis C.T., Maiheu B. et al. Heat wave hazard classification and risk assessment using artificial intelligence fuzzy logic // Environ Monit Assess, 2013, 185, 8239–8258. Doi:10.1007/s10661-013-3170-y
33. Blanchet-Scalliet C., Dorobantu D., Gay L. et al. Risk assessment using suprema data // Stoch Environ Res Risk Assess., 2018, 32, 2839–2848. Doi:10.1007/s00477-018-1595-0
34. Estoque, R.C., Ooba, M., Seposo, X.T., et al. Heat health risk assessment in Philippine cities using remotely sensed data and social-ecological indicators // Nat Commun., 2020, 11, 1581. Doi:10.1038/s41467-020-15218-8
35. Gao Y., Chan E.Y.Y., Lam H.C.Y. et al. Perception of Potential Health Risk of Climate Change and Utilization of Fans and Air Conditioners in a Representative Population of Hong Kong // Int J Disaster Risk Sci, 2020, 11,105–118. Doi:10.1007/s13753-020-00256-z
36. Григорьева Е.А. Комфорт и здоровье человека в климатических условиях городской среды // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: М-лы международ. научно-практической конф. (г. Воронеж, 3-5 октября 2019г.) / Под общ. редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2019. Т. 2. С. 320–322.
37. Koch K., Ysebaert T., Denys, S., Samson R. Urban heat stress mitigation potential of green walls: a review // Urban Forestry & Urban Greening, 2020, 126843. doi:10.1016/j.ufug.2020.126843
38. Davies H.J., Doick K.J., Hudson M.D., Schreckenberg K. Challenges for tree officers to enhance the provision of regulating ecosystem services from urban forests // Environ. Res., 2017, 156, 97-107. Doi:10.1016/j.envres.2017.03.020
39. Raymond C.M., Frantzeskaki N., Kabisch N., et al. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas // Environ. Sci. Pol., 2017, 77, 15-24. Doi:10.1016/j.envsci.2017.07.008
40. Kingsborough, A., Jenkins, K. and Hall, J. W. Development and appraisal of long-term adaptation pathways for managing heat-risk in London // *Climate Risk Management*, 2017, *16*, 73–92. Doi:10.1016/j.crm.2017.01.001
41. Vieira, J., Matos, P., Mexia, T., et al. Green spaces are not all the same for the provision of air purification and climate regulation services: The case of urban parks // Environmental Research, 2018, 160, 306–313. doi:10.1016/j.envres.2017.10.006
42. Gillner S., Vogt J., Tharang A., Dettmann S., Roloff A. Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites // Landscape and Urban Planning, 2015, 143, 33–42. doi:10.1016/j.landurbplan.2015.06.005
43. Feitosa R.C., Wilkinson S.J. Small-scale experiments of Seasonal Heat Stress Attenuation through a Combination of Green Roof and Green Walls // Journal of Cleaner Production, 2020, 250, 119443. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119443

44. He C., He L., Zhang Y., Kinney P.L., Ma W. Potential impacts of cool and green roofs on temperature-related mortality in the Greater Boston region // Environ. Res. Lett., 2020, 15, 094042. Doi:10.1088/1748-9326/aba4c9
45. McDonald R.I., Kroeger T., Zhang P., et al. The Value of US Urban Tree Cover for Reducing Heat-Related Health Impacts and Electricity Consumption //Ecosystem, 2020, 23, 137–150. Doi:10.1007/s10021-019-00395-5
46. Peng L.L.H., Jiang Z., Yang X., He Y., Xu T., Chen S.S. Cooling effects of block-scale facade greening and their relationship with urban form. Build. Environ., 2020, 106552. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106552
47. Qi J.-D., He B.-J., Wang M., Zhu J., Fu W.-C. Do grey infrastructures always elevate urban temperature? No, utilizing grey infrastructures to mitigate urban heat island effects // Sustainable Cities and Society, 2019, 46, 101392. Doi:10.1016/j.scs.2018.12.020
48. Macintyre H.L., Heaviside C. **Potential benefits of cool roofs in reducing heat-related mortality during heatwaves in a European city //** Environ. Int., 2019, 127, 430-441. Doi:10.1016/j.envint.2019.02.065

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОЙ КРОСС-КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Гузиватый В.В. *, Науменко М.А.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Институт озероведения Российской академии наук, Санкт-Петербург, 196105, Россия

USE OF THE MAXIMUM CROSS-CORRELATION METHOD FOR ESTIMATION OF CURRENTS ON LAKE LADOGA SURFACE

Guzivaty V.V. *, Naumenko M.A.
St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences , Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, 196105, Russian Federation

Метод адаптирован для Ладожского озера, предложены новые процедуры выбора и анализа наиболее информативных последовательных космических инфракрасных съёмок для анализа течений. Выявлены наиболее благоприятные условия, параметры, а также ограничения для применения метода максимальной кросс-корреляции для Ладожского озера. Построены системы поверхностных течений для определенных ветровых ситуаций для периода открытой воды.

The maximum cross-correlation method is adapted for Lake Ladoga, new procedures for the selection and analysis of the most informative sequential space infrared images for the analysis of currents are proposed. The most favorable conditions, parameters, as well as limitations for the application of the method for Lake Ladoga are revealed. The systems of surface currents were constructed for specific wind situations for the open water period.

Введение

Течения в крупных озёрах определяют процессы тепло-массопереноса различных пространственно-временных масштабов, распределение химических элементов и гидробионтов, а также во многом ответственны за трансформацию и механизмы самоочищения вод. Непосредственные измерения течений в водоемах связаны со значительными затратами и требуют существенных ресурсов.

Во второй половине двадцатого века Институтом озероведения РАН были предприняты попытки проведения измерений с заякоренных судов и буйковых станций и результаты их остаются до сих пор самыми массовыми измерениями течений в Ладожском озере [1].

Одним из перспективных методов оценки системы поверхностных течений в крупных озерах, является метод максимальной кросс-корреляции (Maximum Cross Correlation, далее МСС), использующий последовательные ИК спутниковые снимки с интервалом в несколько часов. Появление космических аппаратов, сканирующих поверхность Земли несколько раз в сутки, привело к идее проследить движение воды по последовательным спутниковым снимкам, впервые методика была предложена в 1986 году В. Эмери [2] для анализа течений на поверхности морей и океанов. Метод основан на обнаружении поверхностных потоков, связанных с движением температурных градиентов и получил достаточно широкое распространение. Спутниковые методы способны дать информацию о полях скоростей в масштабе акватории с разрешением по времени в несколько часов и по пространству порядка километра.

Метод МСС в основном тестировался в открытом океане и в нескольких случаях в небольших бассейнах, таких как Адриатическое море [3], Черное море [4] и озере Тахо [5].

Методические аспекты и развитие метода МСС применительно к крупному озеру

Ладожское озеро — крупнейшее европейское озеро, является основным источником питьевого водоснабжения Санкт-Петербурга и прилегающих территорий. Поэтому качество воды является важным фактором, который во многом определяется процессами переноса различных субстанций в водной толще озера.

В тоже время, для применения метода МСС к условиям Ладожского озера, небольшого водоема, по сравнению с морскими акваториями, например, такими как Балтийские море (площадь в 20 раз больше Ладожского озера), были проведены дополнительных исследований по его адаптации [6], [7].

Ограничения метода МСС

Надежные результаты при применении данного метода зависит от ряда условий: температура поверхности воды рассматривается как пассивный трассер; вертикальные скорости принимаются незначительными; наблюдаемые температурные особенности поверхности воды перемещаться за период между двумя последовательными изображениями без каких-либо изменений (чистая адвекция) .

Исходные данные

Исходными данными для расчетов течений методом МСС служат серии из нескольких ИК спутниковых изображений полученных сканером MODIS установленного на спутниках Aqua и Terra. Особое значение при расчетах имеет выбор пар последовательных космических снимков, пригодных для применения метода. Предлагаемый метод выбора и анализа космической информации к условия Ладожского озера представлен в работе [7]. Наилучшие результаты показывают расчеты, проведенные с использованием снимков, полученных в ночное время или через небольшие промежутки времени - около 3 часов,

Определение оптимального размера корреляционного окна для условий Ладожского озера

Размер окна поиска (корреляционного окна) определяется структурными особенностями изучаемого поля течений. Обычно для океанов и морей при расчетах МСС используется квадратное окно 22 на 22 пикселя с шагом смещения в 2 пикселя. Численные эксперименты для более чем 40 пар снимков с июня по сентябрь показали, что для каждой пары ИК -изображений размер корреляционного окна должен определятся индивидуально, но не выходя за пределы от 16×16 до 24×24 пикселей [6].

Верификация метода МСС для Ладожского озера

Для проверки соответствия скоростей и направлений течений, рассчитанных методом МСС, предложен подход, заключающийся в измерении скорости перемещения маркеров (характерных точек на изотермах) между двумя снимками с последующим расчетом векторов скорости [8].

Сравнение векторов движения выбранных маркеров и результатов расчетов МСС для Ладожского озера показывает, что примерно 60% направлений между перемещениями маркеров и рассчитанными значениями векторов имеют отклонения не более ±5°. Около 6% составляют максимальные отклонения, достигающие ±20°. Разность скоростей, определенных методом маркеров и МСС, положительна, модальная величина составляет от 2 до 4 см/с, это указывает на некоторое завышение скоростей однако сравнимое с точностью инструментальных измерения течений. Из этого можно заключить, что метод МСС даёт реалистичные результаты, достаточно адекватно отражающие динамику поверхностного слоя воды Ладожского озера.

Построение схем переноса поверхностного слоя воды в озере при различных ветровых ситуациях

На поверхность Ладожское озера практически непрерывно воздействует поле ветра, как следствие результатом этого воздействия является движение поверхностного слоя воды, а за счет трения — это движение передается более глубоким слоям. Результаты исследований [9] показывают, что течение на поверхности направлено примерно по ветру, а скорость составляет около 3% от скорости ветра, измеренной на высоте 10 м.

Особенности пространственного распределения поверхностных течений в Ладожском озере в период открытой воды получены с помощью метода МСС при различных ветровых ситуациях, по их результатам построены схемы переноса поверхностного слоя. Характерным примером может служить схема движение поверхностного слоя воды представленная на рис. 1.

Для расчетов, послужила пара изображений поверхности Ладожского озера в ИК диапазоне, полученных со спутника Terra в 6:54 и 9:16 3 июля 2010 года. Время между изображениями составляет 2 часа 22 минуты. В этот период над Ладожским озером преобладал юго-западный ветер, скоростью 2–5 м/с., полученный с метеостанций г. Сортавала, о. Валаам и г. Шлиссельбург.

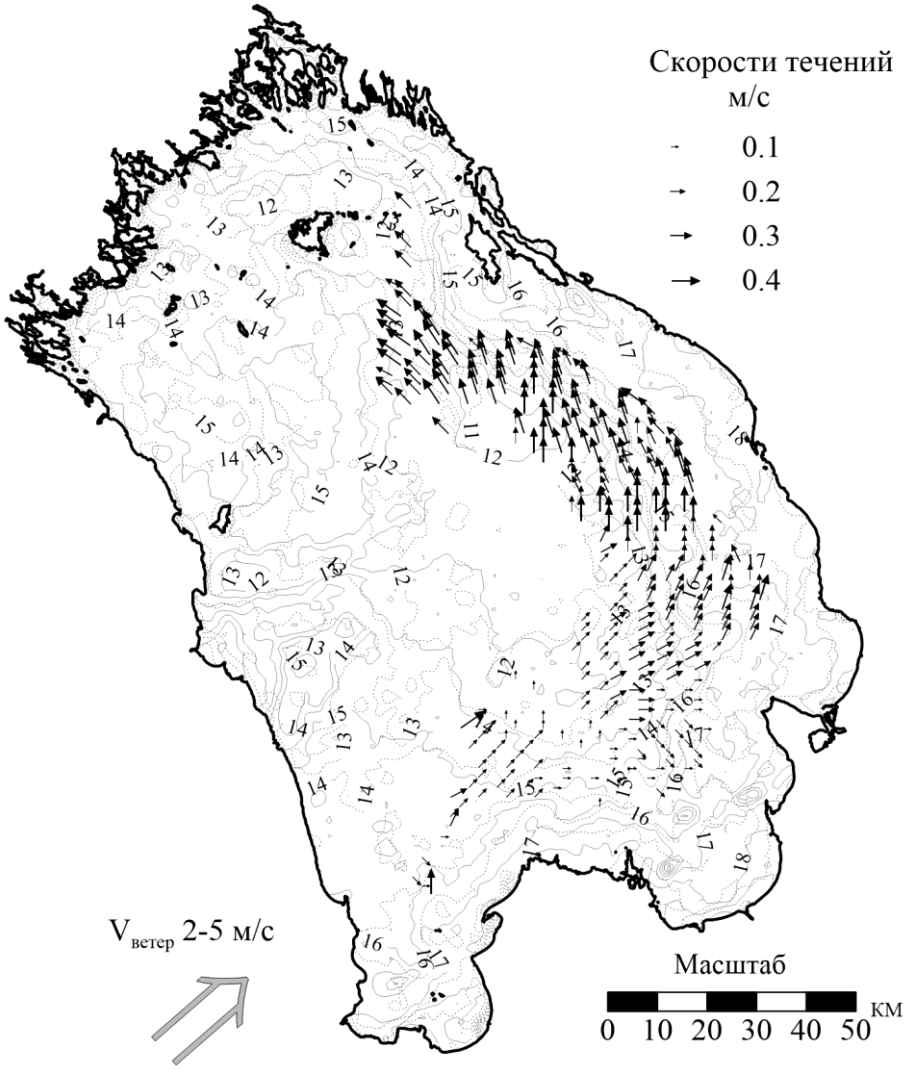


Рис. 1. Схема движение поверхностного слоя воды, рассчитанные на основании снимков, полученных со спутников серии MODIS 3 июля 2010 года в 6:54 и 9:16. Сплошная линия — изотермы первого снимка, пунктирная изотермы — второго снимка.

На рисунке видны зоны повышенной температуры в районе восточного побережья и впадения рек Бурная, Волхов и Свирь и зоны повышенных температурных градиентов, которые проходит вдоль всего южного и восточного берега. Если в центре озера температура примерно равна 11°С, то на восточном побережье достигает 17−19°С. Стрелки показывают поле течений, где основные поверхностные потоки проявляются как раз в зоне повышенных градиентов и направлены вдоль восточного побережья. Направление потоков меняется с северо-восточного на северное и далее переходит на северо-запад, прижимая тем самым прибрежные воды, имеющие повышенную температуру к восточному берегу.

Применение метода максимальной кросс-корреляции для расчёта поверхностных течений Ладожского озера показало его перспективность в условиях практического отсутствия прямых измерений. Метод адаптирован для крупного озера и предложены новые процедуры выбора и анализа наиболее информативных космических инфракрасных съёмок для анализа течений. Выявлены наиболее благоприятные условия, параметры, а также ограничения для применения

метода максимальной кросс-корреляции для Ладожского озера. Построены системы поверхностных течений для определенных ветровых ситуаций и сезонов. Разработанная методика на основе анализа последовательных спутниковых ИК съёмок позволяет оценить динамику вод Ладожского озера и может быть применена для других крупных озёр.

Проведенные исследования выполнены по госзаданию № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Литература

1. Малинина Т.И., Филатова И.В., Филатов Н.Н. Изменчивость водного баланса и моделирование течений Ладожского озера // Материалы школы-семинара: Взаимодействие между водой и седиментами в озерах и водоемах. Л.: Наука, 1984. С. 191-197.
2. Emery W.J., Thomas A.C., Collins M.J., Crawford W.R. Mackas D.L. An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images // J. Geophys. Res. 1986. V. 91. № 11. P. 12865–12878.
3. Notarstefano G., Poulain P.-M., Mauri E. Estimation of Surface Currents in the Adriatic Sea from Sequential Infrared Satellite Images // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2008. V. 25. № 2. P. 271–285.
4. Afanasyev Y.D., Kostianoy A.G., Zatsepin A. G., Poulain P.-M. Analysis of velocity field in the eastern Black Sea from satellite data during the Black Sea ’99 experiment // J. Geophys. Res. 2002. V. 107. № 8. P. 3098-4003.
5. Steissberg T.E., Simon J.H., Geoffrey S.S. Measuring surface currents in lakes with high spatial resolution thermal infrared imagery // Geophysical Research Letters. 2005. V. 32, L11402. 4 p.
6. Гузиватый В.В., Науменко М.А. Оценка течений на поверхности крупного озера с помощью последовательных инфракрасных // Труды V Всероссийская конференция «Ледовые и термические процессы на водных объектах России» 11-14 октября 2016 г., г. Владимир, 2016. С. 113-119.
7. Гузиватый В.В., Науменко М.А., Румянцев В.А Оценка поверхностных течений Ладожского озера методом максимальной кросс-корреляции / Исследование Земли из космоса. 2020. № 1. С. 20-30.
8. Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Карнацкий А.Ю. Автоматический расчет скоростей поверхностных течений океана по последовательности спутниковых изображений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 2. С. 131-142.
9. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. М.: Мир, 1988, 324 с.

ИЗМЕНЕНИЯ В ТЕЛОЗАПАСЕ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ВОД АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА ПРИ СОКРАЩЕНИИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

Даньшина А.В. [1]
[1]ФГБУ "Арктический и антарктический научно-исследовательский институт", Санкт-Петербург, Россия

CHANGES IN THE UPPER LAYER HEAT CONTENT OF THE ARCTIC BASIN WATERS DURING ICE COVER REDUCTION BASED ON MODELING CALCULATIONS

Danshina A.V. [1]
[1]FSBI "Arctic and Antarctic Research Institute"

На основе реконструированных полей океанографических параметров с помощью региональной конфигурации модели NEMO была получена оценка изменений теплозапаса верхнего слоя вод Северного Ледовитого океана в современных климатических условиях. Обсуждаются региональные особенности распределения аномалий теплозапаса изучаемого слоя.

The assessment of changes of the upper layer heat content of the Arctic Ocean water in modern climate conditions was obtained on the basis of reconstructed fields of oceanographic parameters using the regional configuration of the NEMO model. Regional features of the distribution of studied layer heat content anomalies are discussed.

При значительной перестройке глобальной климатической системы, происходящей в текущем столетии, Северный Ледовитый океан остается одним из ее чувствительных компонент и важнейших индикаторов. Потепление в Арктическом регионе протекает почти в два раза быстрее по сравнению с глобальной скоростью потепления [1, 2]. Как известно, теплозапас Мирового океана с его высокой теплоемкостью и достаточно большой инерционностью относится к одним из важнейших фактор, влияющих на изменения климата планеты. В связи с этим при изучении климатических изменений важно осуществлять мониторинг теплосодержания океана [3], в том числе и верхнего слоя вод Арктического бассейна.

Для получения объективного описания состояния гидрофизического режима вод Северного Ледовитого океана при нерегулярности, как по времени, так и по пространству данных натурных измерений, прибегают к численному моделированию для восстановления его гидрофизических полей. В данной работе для описания изменений теплосодержания верхнего слоя океана использовались данные численных экспериментов, полученных с помощью региональной конфигурации модели NEMO (англ. The Nucleus for European Modelling of the Ocean) с ледовым блоком LIM3. Основные уравнения и параметризации физических процессов модели океана NEMO подробно рассмотрены в руководстве пользователя [4]. Особенности адаптированной к условиям Арктического бассейна региональной конфигурации модели приведены в публикациях [5,6].

Ранее в [5-7] производилась оценка взаимовлияний теплозапаса и толщины ледяного покрова на отдельных акваториях морей Северного Ледовитого океана в контрастные по ледовому режиму годы. В данном исследование основное внимание уделено выявлению региональных особенностей в пространственном распределении

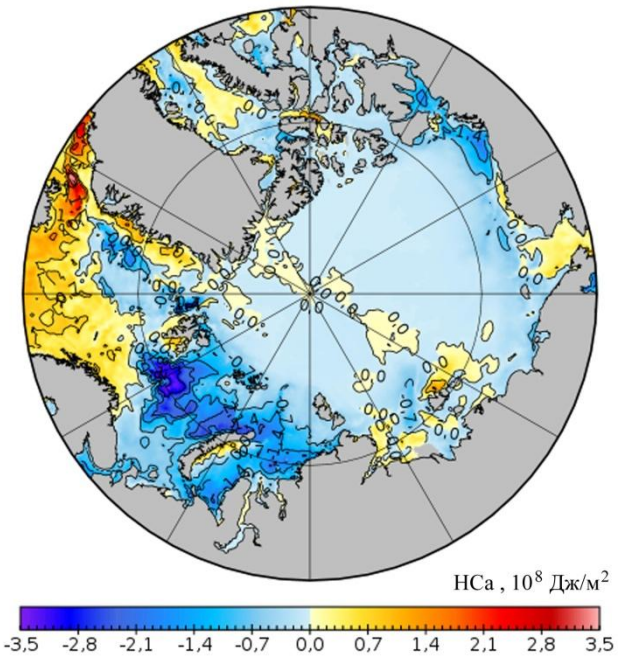
теплозапаса верхнего слоя всего Арктического бассейна в период потепления и сокращения площади океана

Так по реконструированным полям температуры и солености был оценен теплозапас, а также и его аномалии в верхнем слое Северного Ледовитого океана в текущем столетии, которые определялись следующим образом:

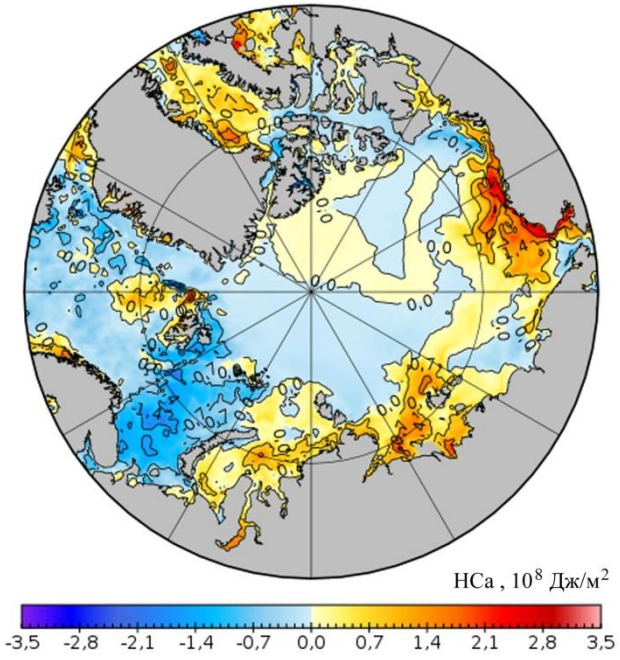
$$HC_a = \int_{h_1}^{h_2} \rho c_p T(z) dz - (\sum_{t_1}^{t_2} \int_{h_1}^{h_2} \rho c_p T(z) dz) / t$$

где HC_a – аномалия теплозапаса в расчетном слое океана, Дж/м^2, Cp – удельная теплоемкость морской воды при постоянном давлении, Дж/(кг·°С); ρ – плотность морской воды, кг/м^3; $T(Z)$ –температура морской воды, °С; h_1 *и* h_2 – нижняя и верхняя границы расчетного слоя, соответственно, м, $t=t_2-t_1$ – период осреднения.

На основании вышеприведенного соотношения продемонстрировано на рисунке 1а и 1б распределение аномалий теплозапаса в контрастные по ледовому режиму годы в летний период. Видно, что по сравнению с холодным 2004 годом летом в теплый 2019 год теплозапас Северного Ледовитого океана значительно увеличивается особенно в морях российского сектора Арктики и у побережья Северной Америки



а)



б)

Рис. 1. Распределение аномалий теплозапаса в верхнем слое Северного Ледовитого океана летом (июнь-август) в 2003 году (а) и в 2019 году (б)

В 2020 году в летний сезон величина положительных аномалий еще больше возрастает в Карском море, море Лаптевых и Восточном Сибирском, тогда как в море Бофорта и в районе в Берингова пролива величина положительных аномалий теплозапаса уменьшается и меняет свой знак.

В результате в данном исследовании на основе расчета среднемесячного теплозапаса вод Арктического региона в пределах деятельного слоя был произведен анализ региональных особенностей распределения аномалий теплозапаса, в том числе и их сезонных колебаний, а также динамики расходования теплозапаса в зимний период.

Литература

1. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge Univ., Cambridge. – 2013. – 1535 pp.
2. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contributionof Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge Univ., Cambridge. – 2014. – 688 pp.
3. Meyssignac B., Boyer T., Zhao Z, Hakuba M. Z., Landerer M. Z., Stammer D., Köhl A., Kato S., Ecuyer T. L., Ablain M., Abraham J.P., Blazquez A., Cazenave A., Church J.A., Cowley R., Cheng L., Domingues C.M., Giglio D., Gouretski V., Ishii M., Johnson G.C., Killick R.E., Legler D., Llovel W., Lyman J., Palmer M.D., Piotrowicz S., Purkey S.G., Roemmich D., Roca R., Savita A., von Schuckmann K., Speich S., Stephens G., Wang G., Wijffels S.E. and Zilberman N. Measuring Global Ocean Heat Content to Estimate the Earth Energy Imbalance // Frontiers in Marine Science. – August 2019. – V. 19. –Article 432 – 31 pp. (https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00432).
4.. Madec G. NEMO ocean engine, Version 3.6 stable // Note du Pôle de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL), France. – 2016. – № 27. – 396 pp.
5. Даньшина А. В. Влияние теплозапаса деятельного слоя Восточно-Сибирского моря на эволюцию ледяного покрова // Оригинальные исследования. – 2018. – Т.8. – № 5. – С. 4–15.
6. Даньшина А. В. Оценка влияния гидрофизических параметров на эволюцию толщины ледяного покрова по данным моделирования в Арктике // Современные методы и средства океанологических

исследований (МСОИ-2019). Материалы XVI всероссийской научно-технической конференции. – М.: ИД Академии Жуковского. – 2019. – Т.1. – С. 56–60.
7. Даньшина А. В. Оценка влияния ледяного покрова на состояние гидрофизических параметров вод Арктического региона в современных климатических условиях на основе модельных расчетов //Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб.: ХИМИЗДАТ. . – 2019. – С.67. – 71.

ДИНАМИКА ТЕПЛОВОГО СТОКА РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

Двоеглазова К.С. [1] , Шелутко В.А. .[1], Горошкова Н.И. [2]
[1]Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
[2]Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

HEAT RUNOFF DYNAMICS OF THE NORTHERN DVINA RIVER

Dvoeglazova K.S.[1], Shelutko V.A. [1], Goroshkova N.I. [2]
[1] Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia
[2] State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

Доклад посвящен анализу динамики теплового стока реки Северная Двина. Оценка данных по температуре воды и объему теплового стока выявила изменения этих характеристик во времени, обусловленные увеличением температуры воздуха со второй половины 1970-х годов.

The report is devoted to the analysis of heat runoff dynamics of the Northern Dvina river. Evaluation of data on water temperature and heat runoff volume revealed changes in these characteristics over time due to an increase in air temperature since the second half of the 1970s.

Введение

Северная часть бассейна реки Северная Двина относится к Арктической зоне России. Река впадает в Двинскую губу Белого моря.

В первую очередь изменения климата оцениваются по данным о температуре воздуха. Выделяют 2 основных интервала: слабое похолодание с 1946 по 1975 гг. и наиболее интенсивное потепление с 1976 года [1]. Изменение температуры воды стало происходить с 1980-х годов.

Целью данной работы является анализ временной динамики теплового стока реки Северная Двина.

База данных, использованная в работе, была составлена по материалам, предоставленным ФГБУ «Государственный гидрологический институт». Она включает в себя данные температуры воды за период открытого русла с 1950 по 2016 гг. и среднемесячных расходов с 1950 по 2015 гг. по 3 створам реки Северная Двина (д. Абрамково, д. Звоз и с. Усть-Пинега). Особое внимание было уделено створу с. Усть-Пинега, как замыкающему створу реки.

Оценка однородности рядов наблюдений

На однородность анализировались средняя температуры воды за период открытого русла и среднегодовые расходы воды для каждого поста. Однородность рядов проверялась по критерию Стьюдента и Фишера (Таблица 1).

Таблица 1. Сводная таблица проверки гипотез однородности.

Створ	Температура воды	Расход воды
д. Абрамково	Неоднородный	Однородный
д. Звоз	Неоднородный	Однородный
с. Усть-Пинега	Однородный	Однородный

Нарушение однородности выявлено только у рядов температуры воды, а именно для створов д. Абрамково и д. Звоз. Неоднородными они являются по критерию Стьюдента, что может быть вызвано изменением метеорологических факторов (повышение температуры воздуха с 1970-х годов).

Среднемноголетний сток

Годовой сток воды на реке Северная Двина уменьшается с севера на юг, несмотря на увеличение годовой суммы осадков. Причиной такого уменьшения является уменьшение площади водосбора [2].

Подсчет среднемноголетнего стока рек производился через нахождение годового стока и последующее вычисления среднего арифметического ряда (годовой сток характеризуется нормой стока). Количественно средний многолетний сток выражается через объем (формула 1) или модуль стока (формула 2) [3].

Подсчет среднего объема стока за многолетний период:

$$\bar{W} = \frac{\sum_1^N Q_{\text{ср},i} t}{N} \quad (1)$$

где $Q_{\text{ср},i}$ - среднегодовой расход воды в створе за i-тый год, N - количество лет наблюдений, t- количество секунд в году.

Модуль стока рассчитывался по следующей формуле:

$$\bar{q} = 1000 \frac{\bar{Q}}{F} \quad (2)$$

где $\bar{q}$ – среднемноголетний модуль стока, $\bar{Q}$ – средний расход воды, F – площадь водосбора.

Полученные данные представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Среднемноголетние значения характеристик стока.

Створ	Средний расход, м^3/с	Объем стока, км^3/год	Модуль стока, л/сек*км^2
д. Абрамково	1970,0	62,1	8,96
д. Звоз	2577,8	81,2	9,05
с. Усть-Пинега	3276,4	103,2	9,42

Согласно исследованию В.И. Бабкина, средний суммарный Арктический сток российский рек составляет порядка 2900 км^3 [4]. Таким образом, на реку Северная Двина приходится 3,6% от суммарного стока.

Внутригодовое распределение стока

Северная Двина относится к рекам с преимущественно снеговым питанием. Водный режим характеризуется высоким весенним половодьем и низкой зимней меженью. Летом и осенью часто проходят дождевые паводки, что является причиной повышенной водности реки по сравнению с зимним сезоном [2]. Внутригодовое распределение представлено в Таблице 3.

Таблица 3. Внутригодовое распределение стока по месяцам (в %).

Створ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
д. Абрамково	2,8	2,3	2,1	8,8	36,3	15,9	7,2	4,9	5,1	6,3	4,9	3,3
д. Звоз	2,9	2,3	2,0	8,4	36,1	16,1	7,3	4,8	5,0	6,4	5,3	3,4
с. Усть-Пинега	2,7	2,2	2,0	7,6	35,8	16,2	7,2	4,9	5,3	6,9	5,7	3,5

Весеннее половодье начинается в третьей-четвертой декадах апреля, длится 1,5-2 месяца. Этот период характерен максимальными расходами воды (40-60% годового стока). Зимняя межень начинается в четвертой декаде октября, продолжается от 4,5 до 6 месяцев. Сток воды уменьшается к концу зимы, минимальным становится к марту.

Температурный режим и среднемноголетний тепловой сток

Река Северная Двина имеет устойчивую температуру воды на всем своем протяжении, только немного снижающуюся к устьевой части на 0,5-1˚, а весной на 2-3˚. В Таблице 4 представлены данные средних месячных температур воды, осредненных за различные периоды.

Таблица 4. Среднемесячные температуры воды за 2 периода: 1950-1980 и 1981-2016 гг.

Створ	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
1950-1980 гг.						
д. Абрамково	7,5	15,5	19,3	17,0	10,3	3,6

д. Звоз	6,8	15,1	19,2	17,1	10,5	3,8
с. Усть-Пинега	4,4	13,2	18,5	16,3	9,9	2,9
1981-2016 гг.						
д. Абрамково	8,6	16,4	20,2	17,5	11,0	3,9
д. Звоз	7,8	16,0	19,9	17,3	11,0	4,1
с. Усть-Пинега	5,5	14,8	19,4	17,0	10,7	3,7

С 1950 года по 2016 год средняя температура воды за период открытого русла по реке Северная Двина увеличилась по сравнению с предшествующим периодом за отдельные месяцы на 0,3-1,5˚ С [5].

Тепловой сток реки осуществляется лишь в период открытого русла (с мая по октябрь), в остальное время года значения можно считать незначительными.

Месячная величина теплового стока рассчитывалась по следующей формуле:

$$W_T = c_p p t W \quad (3)$$

где c_p - удельная теплоемкость воды (изменяется от 4,174 до 4,212 кДж/(кг*°С) при t от 0 до 30°С), ρ - плотность пресной воды, равная 1000 кг/м^3, t – средняя за месяц температура воды (°С), W - объем жидкого стока за месяц (м^3). Результаты расчета представлены в Таблице 5.

Таблица 5. Объем теплового стока за различные периоды, кДж*10^{12}.

Створ	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Сумма
1950-2015							
д. Абрамково	775,9	650,7	375,1	224,7	139,7	61,7	2227,8
д. Звоз	929,9	847,1	492,8	287,2	182,6	87,5	2827,1
с. Усть-Пинега	776,8	956,6	587,9	353,2	231,3	101,9	3007,7
1950-1980							
д. Абрамково	695,7	698,1	350,4	219,6	134,9	62,0	2160,7
д. Звоз	857,9	928,5	479,1	290,7	180,1	90,2	2826,4
с. Усть-Пинега	668,3	1002,4	559,7	339,9	218,1	88,8	2877,3
1981-2015							
д. Абрамково	846,9	595,9	399,8	228,8	143,2	62,7	2277,4
д. Звоз	975,2	756,1	507,4	284,7	183,6	86,8	2793,8
с. Усть-Пинега	869,2	894,9	616,5	369,5	240,1	108,2	3098,4

За весь период данных с июня по октябрь объем теплового стока преобладает у створа с. Усть-Пинега (замыкающий створ). В мае значение меньше (в сравнении с остальными створами) за счет более позднего вскрытия ото льда притока Пинега, впадающего в реку Северная Двина перед створом с. Усть-Пинега.

Значения объема теплового стока по месяцам за период с 1981 по 2015 гг. преобладают над предшествующими годами за исключением июня. С 1950 по 1980 максимум теплового стока приходился на июнь, а с 1981 года максимальные значения прослеживаются в мае, что говорит об изменении сроков ледоразрушения в весенний период (более раннее вскрытие реки от ледостава). На рис. 1 представлены объемы теплового стока для створа с. Усть-Пинега, которые подтверждают ранее выдвинутые выводы.

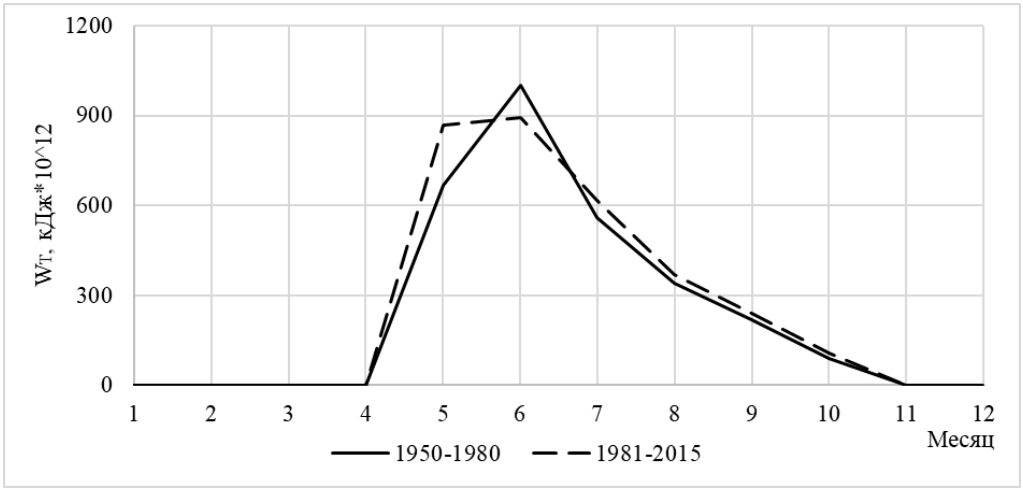


Рис 1. Изменение объема теплового стока за периоды: 1950-1980 гг. и 1981-2015 гг. - р. Северная Двина с. Усть-Пинега.

Внутригодовая динамика теплового стока связана как с изменением температуры, так и с величиной расхода воды. На рис. 2 представлены графики модульных коэффициентов объема теплового стока, температуры и расходы воды.

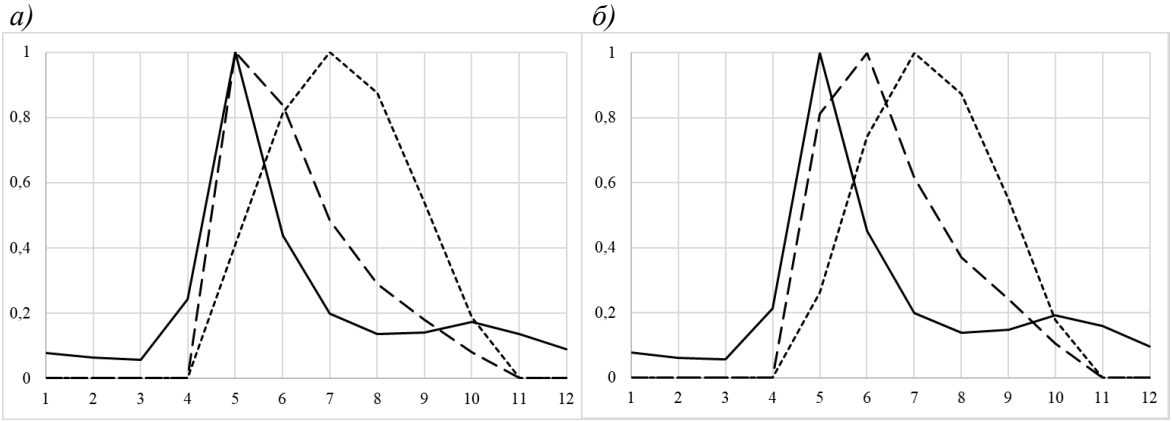


Рисунок 2 Графики модульных коэффициентов температуры воды за период открытого русла (----), расхода воды (—) и объема теплового стока (– –) для *а)* д. Абрамково, *б)* с. Усть-Пинега.

Как видно по графикам максимум теплового стока либо совпадает с максимумом расхода воды (д. Абрамково), либо смещен относительного него (с. Усть-Пинега), но в обоих случаях не совпадает с максимумом температуры воды. Для д. Абрамково это можно объяснить более высокой температурой воды в мае (среднемноголетнее значение 8,2°С) по сравнению со створом с. Усть-Пинега (среднемноголетнее значение 5,1°С). Для с. Усть-Пинега это можно объяснить временем весеннего половодья.

Заключение

Влияние изменения климата, а в особенности его потепления с 1976 года, прослеживается в изменении термических характеристик стока реки Северная Двина.

Увеличение температуры воды за различные месяцы произошло до 1,5°С.

Увеличение объема теплового стока (от 20 до 300 кДж*10^{12} за различные месяцы по сравнению с периодом 1950-1980 гг.) произошло за счет переноса сроков ледоразрушения на более ранние (с первой декады мая на вторую декаду апреля).

Литература

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха //Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». – 2012. – 194 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный край // Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 663 с.

3. Магрицкий Д. В. Тепловой сток рек в моря Российской Арктики и его изменения //Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2009. – №. 5.
4. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования. М.: ГЕОС, 2007.
5. Двоеглазова К. С., Шелутко В. А., Горошкова Н. И. ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОГО И ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК БАССЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ //ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ. – 2019. – С. 274-277.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ АКВАТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ)

Денисов В.В. [1], Светлова М.В. [2]
[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Мурманский морской биологический институт Российской академии наук (ММБИ РАН), г. Мурманск, Россия
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский арктический государственный университет», г. Мурманск, Россия

GEONFORMATION MODELING ECOLOGICAL FRAMEWORK OF SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS AKVATERRARIUMA (ON THE EXAMPLE OF THE MURMANSK REGION AND ADJACENT WATER AREAS)

Denisov V.V. [1], Svetlova M.V. [2]
[1]Federal State Budgetary Institution of Science Murmansk Marine Biological Institute Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
[2]Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Murmansk Arctic State University», Murmansk, Russia

Предложен общий алгоритм моделирования экологического каркаса сложных приморских социо-эколого-экономических систем в среде ArcGIS. Представлена общая модель экокаркаса Мурманской области с омывающими морскими акваториями.

A general algorithm for modeling of the ecological framework of complex coastal socio-ecological-economic systems in the ArcGIS environment is proposed. A general model of the eco-frame of the Murmansk region with the washing sea areas is presented.

Российская Арктика – стратегически значимая зона России, чрезвычайно богатая природными (минеральными, биологическими, водными) ресурсами. Согласно «Основам государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года», утвержденным Указом Президента N 164 от 5 марта 2020 г., одним из основных направлений ее реализации является охрана окружающей среды Арктики и обеспечение ее экологической безопасности.

Одним из наиболее крупных и экономически развитых субъектов Российской Арктики является Мурманская область, которая отличается выгодным географическим положением (возможностью круглогодичной морской навигации с прямым выходом в Мировой океан, близостью к промышленно развитым регионам, богатым природно-ресурсным потенциалом), наличием мощного промышленно-индустриального комплекса в сочетании со слабой устойчивостью субарктических природных комплексов к негативной антропогенной нагрузке.

Особенности территориально-акваториального устройства Мурманской области и прилегающих акваторий Баренцева и Белого морей, обусловленные в соответствии с Конституцией Российской Федерации различиями административной подведомственности его частей (сухопутная часть находится в региональном ведении, морская – в федеральном), предопределяют применение нетривиальных подходов для решения задач рационального природопользования и охраны окружающей среды [1]. Одним из таких решений может являться геоинформационное моделирование экологического каркаса сложного акватерриториального объекта.

Метод геоинформационного моделирования базируется на создании множества тематических слоев и последующей интеграции пространственных и атрибутивных данных путем оверлейных операций и обеспечивает формализованное представление моделируемого объекта как совокупности параметров, отражающих его признаки, пространственные взаимосвязи и отношения. Геоинформационная модель с пространственно-временной

детализацией данных обеспечивает максимальную инвариантность организации геоинформационных ресурсов и способствует принятию управленческих решений в области прикладных задач рационального природопользования как на стратегическом, так и на тактическом уровнях.

Моделирование экологического каркаса Мурманской области и прибрежно-морских зон омывающих ее морей реализовано нами с помощью функционала ArcGIS, который предоставляет полнофункциональный инструментарий для работы с эколого-географической информацией.

Общий алгоритм построения экологического каркаса включает предварительный, основной и заключительный этапы. На предварительном этапе осуществляется эколого-функциональное зонирование всей акватерриториальной области [2] и ее разделение на два сегмента: эксплуатируемый (промышленный) и охраняемый. В процессе основного этапа осуществляется выбор базовой карты, выбор тематических карт для создания редактируемых слоев, последовательная пространственная координатная привязка и оцифровка (послойная векторизация) тематических бумажных и электронных карт (создание базы геоданных), настройка отображения слоев при их оверлее. Заключительный этап включает идентификацию (верификацию) элементов экологического каркаса и настройку их отображения. По окончании осуществляются картографические операции оформления результирующей карты (создание легенды и т.д.).

Общая схема экологического каркаса Мурманской области и прибрежно-морских зон омывающих ее Баренцева и Белого морей представлена на карте-схеме (Рис. 1) с легендой.

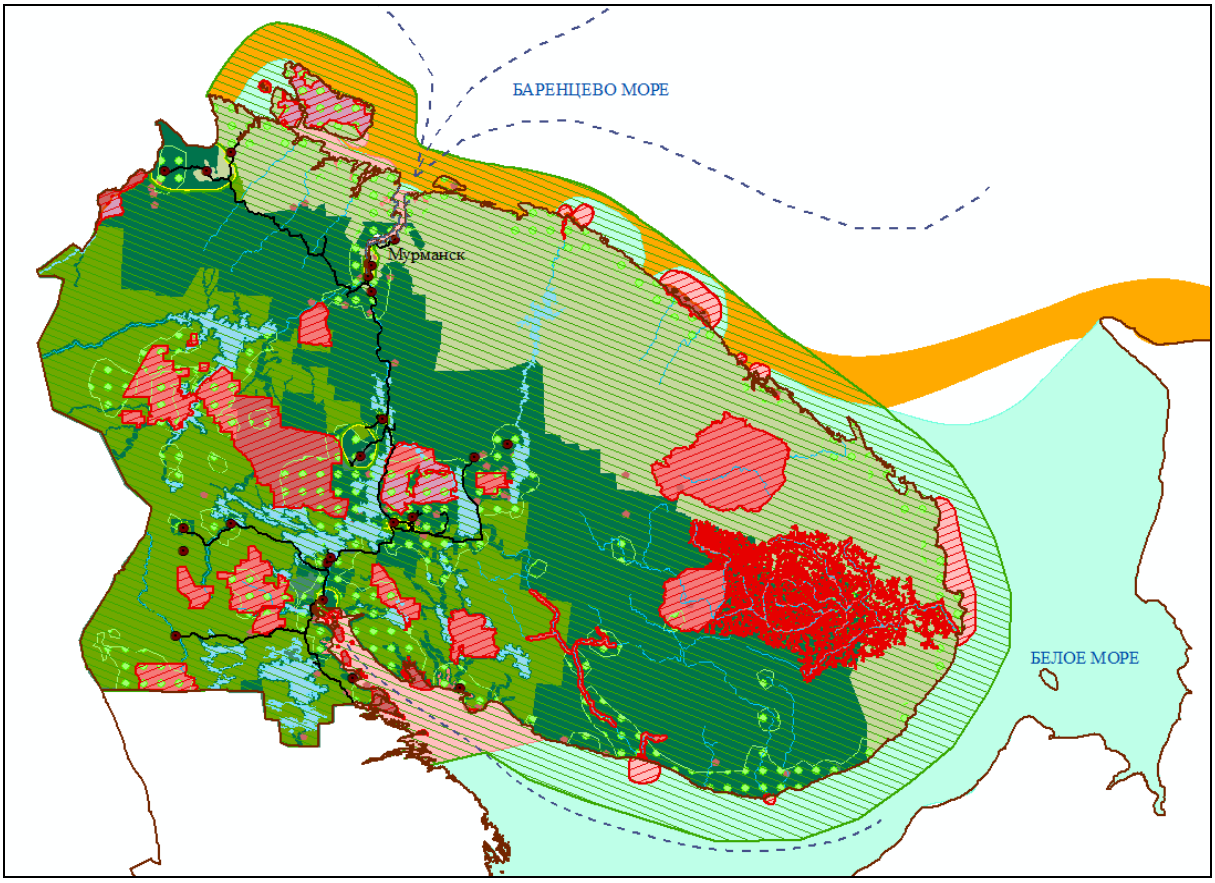
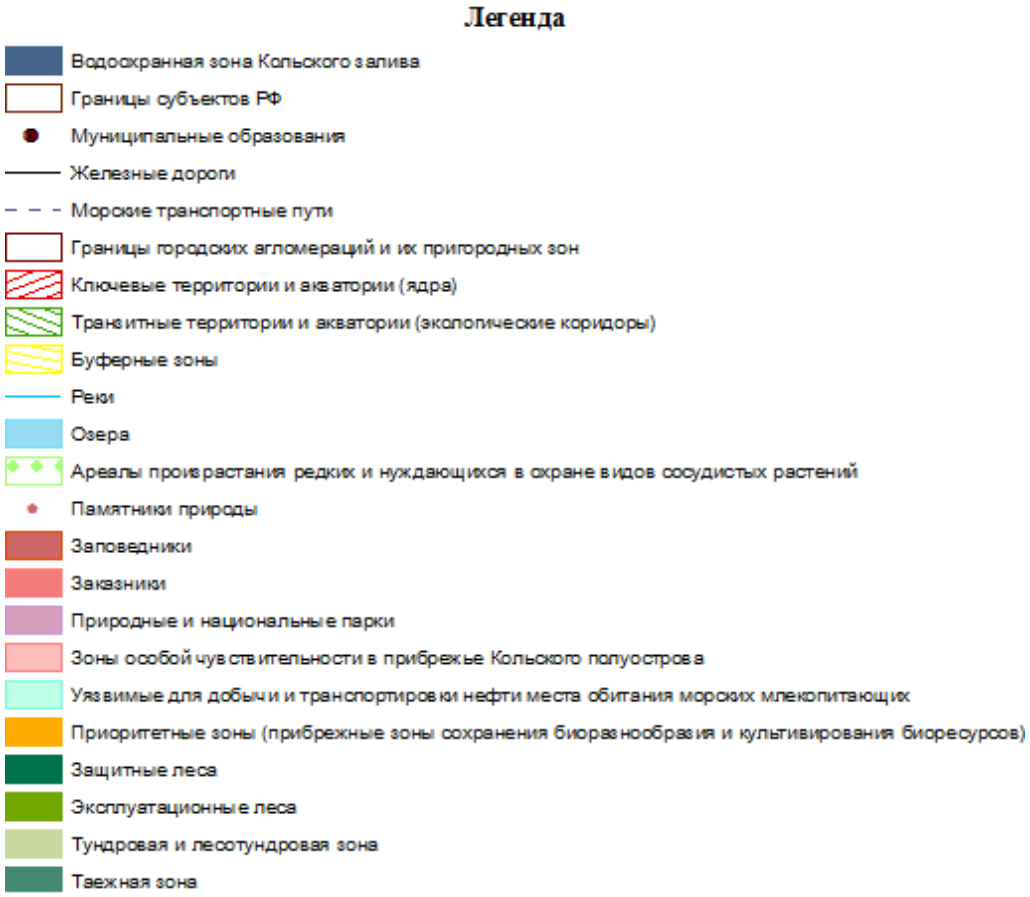


Рис. 1. Общая схема экологического каркаса Мурманской области и прибрежно-морских зон омывающих ее морей



В качестве базовой карты нами была использована топографическая карта мира из базы данных ArcGIS Online, а также карта границ административных субъектов РФ.

Для создания редактируемых слоев нами были использованы карты: особо охраняемых природных территорий (ООПТ), физическая, обзорно-топографическая, природных зон, ареалов произрастания редких и нуждающихся в охране видов сосудистых растений, карта-схема распределения лесов по целевому назначению, уязвимых для добычи и транспортировки нефти мест обитания морских млекопитающих [3], зон особой чувствительности в прибрежье Кольского полуострова [4], карта-схема функционального зонирования акватории Баренцево-Карского региона [5] и другие.

В результате сегментации мурманского регионального акватерриториального пространства в охраняемый сегмент вошли ООПТ, в т.ч. морские, которые наряду с зонами особой чувствительности в прибрежье Кольского полуострова к негативному антропогенному воздействию выступают ядрами (ключевыми участками) его экологического каркаса. В перечень экологических коридоров помимо защитных лесов всех категорий вошли также эксплуатационные леса по причине снижения в последнее время объемов производства лесопромышленного комплекса области в силу ряда причин, в первую очередь, недостаточного и нерегулярного спроса на лесозаготовительную продукцию в силу низкого качества древесины, обусловленного суровыми условиями произрастания, дезинтеграцией рыночных связей.

Участок морской акваториальной части экологического каркаса непрерывной полосой опоясывает морское побережье Мурманской области (ширина полосы на карте отмечена приблизительно и требует детального уточнения) [5].

В эксплуатируемый промышленный сегмент вошли территории городских агломераций и пригородных зон, транспортной сети области (в первую очередь, железнодорожной), районы морских транспортных путей и зоны значительной деградации экосистем в районах влияния крупных промышленных горнодобывающих и горно-металлургических предприятий. Эти зоны

нуждаются в экологической реабилитации и впоследствии могут быть включены в экологический каркас.

Новая схема углубляет и дополняет первый экологический каркас, представленный в материалах предыдущей конференции [6]. С точки зрения экологической географии эта схема, дополненная легендой, освещает основные элементы экологического каркаса территории.

Предложенный вариант экологического каркаса территории Кольского полуострова как инструмент сохранения целостности территориальной системы, способствует достижению стратегического баланса между деятельностью человека и поддержанием воспроизводящих возможностей биосферы, что и является одним из важнейших критериев устойчивого развития.

Литература

1. Светлова, М.В. Комплексная оценка эколого-географического положения приморских территорий (на примере Мурманской области) [Текст]: дис ... канд. геогр. наук: 25.00.36 – Геоэкология (Науки о Земле): утв. 10.02.2015 / Светлова Марина Всеволодовна. – Мурманск, 2014. – 169 с.
2. Светлова, М.В. Экологические функции территории Мурманской области [Текст] / М.В. Светлова // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики». Часть II: Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды; Актуальные проблемы информатизации науки и производства. 14 – 17 апреля 2011 г., Тольятти. Тольятти: Волжский университет им. Татищева. - 2011. - С. 135-142.
3. Баренцево море – море возможностей …и …угроз? [Текст] // Проект WWF «Экорегион Баренцева моря». – М.: WWF России, 2003. – 19 с.
4. Денисов, В.В. Подходы к обеспечению экологической безопасности Баренцево-Карского региона при развитии морской нефтегазодобычи [Текст] / В.В. Денисов, Г.В. Ильин // Мурманшельфинфо. - Март, 2009. - № 1. – С. 17-22.
5. Денисов, В.В. Функциональное зонирование Баренцева и Карского морей [Электронный ресурс] / В.В. Денисов, С.Л. Дженюк, А.П. Жичкин, Г.В. Ильин // «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации» на 2014 год. – 11 с. – URL: http://www.ras.ru/viewstaticdoc.aspx?id=6fa0e4e3-9753-428b-a447-1befb815cd93&_Language=ru (Дата обращения: 01.09.2020). Режим доступа: раздел «1. Окружающая среда, социально-экономические и политические проблемы», подраздел «1.4. Геополитические, экологические и общественно-гуманитарные проблемы развития арктических регионов», № 36.
6. Денисов, В.В. Кольский полуостров и прилегающие морские акватории как предмет геокаркасного моделирования в интересах рационального управления [Электронный ресурс] / В.В. Денисов, М.В. Светлова // «Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития», СПб, 2019. – С.290-293. – URL: http://mgo-spb.ru/work-conf-2019 (Дата обращения 01.09.2020).

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЬНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ЭВОЛЮЦИЮ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ И ОСАДКОВ В КИТАЕ

Довгалюк Ю. А. , Веремей Н. Е. , Синькевич А. А. , Михайловский Ю. П. , Торопова М. Л. , Янг Дж. , Сун М.
Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Санкт-Петербург, Россия
Институт физики атмосферы АН Китая, Пекин, Китай

NUMERICAL SIMULATION OF HIGH AEROSOL AIR POLLUTION ON CONVECTIVE CLOUDS AND PRECIPITATION DEVELOPMENT IN CHINA

Dovgaluk Yu. A. , Veremei N. E. , Sinkevich A. A. , Mikhailovsky Yu. P. , Toropova M. L. , Yang , J. , Sun M.
A.I.Voeikov Main Geophysical Observatory, Saint-Petersburg, Russia
Atmospheric physics institute Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

Выполнено численное моделирование эволюции грозового облака при аэрозольном загрязнении атмосферы. Влияние аэрозолей на облако учитывалось путем варьирования параметров капель и ледяных частиц. Получено, что наибольшее влияние на характеристики облака оказывает изменение спектра размеров градин.

The numerical simulation of convective cloud evolution during high aerosol air pollution was performed. The effect of aerosols on cloud was taken into account by water drops and ice particles parameters variation. It was obtained that changes of hailstones size spectrum has the greatest impact on cloud characteristics.

Введение

В настоящее время значительное внимание уделяется исследованию аэрозольного загрязнения воздуха и его влияния на атмосферные процессы. Данная статья посвящена изучению влияния аэрозолей на эволюцию конвективных облаков, которые, в свою очередь, ответственны за распространение и вымывание из атмосферы аэрозольных примесей.

Степень и характер влияния аэрозоля на характеристики конвективных облаков неоднозначны и определяются большим числом физических процессов, связанных между собой сложными прямыми и обратными связями. Особый интерес представляют случаи образования и развития таких облаков в условиях повышенной концентрации аэрозоля, особенно в крупных городах и их окрестностях. В данной работе методом трехмерного численного моделирования исследуется эволюция одного из Cb, развивавшихся в окрестности г. Пекина (Китай) 11.08.2017 г. В этот день наблюдались грозы с сильными осадками при значительном аэрозольном загрязнении атмосферы. Целью работы является исследование влияния аэрозольного загрязнения на динамические, микрофизические и электрические характеристики Cb с использованием численной нестационарной трехмерной модели [1].

Выбор рабочих параметров модели

В качестве параметров модели, чувствительных к повышенной концентрации аэрозоля, выделим параметры распределения частиц осадков по размерам. Для задания указанных распределений используется простая функция распределения Маршалла – Пальмера:

$$dN_{\mathrm{r}}(D_{\mathrm{r}}) = N_{0r}e^{-\Lambda_{\mathrm{r}}D_{\mathrm{r}}}dD_{\mathrm{r}},\ dN_{\mathrm{i}}(D_{\mathrm{i}}) = N_{0i}e^{-\Lambda_{\mathrm{i}}D_{\mathrm{i}}}dD_{\mathrm{i}},\ \Lambda_{\mathrm{r}} = (\pi\rho_{wat}N_{0r}\rho_a q_{\mathrm{r}})^{1/4},\ \Lambda_{\mathrm{i}} = (\pi\rho_{ice}N_{0i}\rho_a q_{\mathrm{i}})^{1/4}.$$

Здесь ρ_a, ρ_{wat}, и ρ_{ice} – плотности воздуха, воды и льда соответственно, q_{r} и q_{i} – удельное содержание дождевых капель и градин соответственно, $N_{\mathrm{r}}(D_{\mathrm{r}})$ и $N_{\mathrm{i}}(D_{\mathrm{i}})$ – счетная

концентрация дождевых капель радиуса $D_{\text{г}}$ и градин радиуса D_{i} соответственно, N_{0r} и N_{0i} – независимые, а $\Lambda_{\text{г}}$ и Λ_{i} – зависимые параметры.

Уменьшение значений N_{0r} или N_{0i} означает сдвиг спектров размеров дождевых капель или градин в сторону увеличения и, соответственно, наоборот. Таким образом, варьируя указанные параметры, можно воспроизводить ситуацию, когда осадкообразующее облако развивается в условиях повышенного аэрозольного загрязнения.

Результаты расчетов

Выполнен расчет эволюции конвективного облака для базового случая ($N_{0r} = 0{,}08$ см$^{-4}$; $N_{0i} = 0{,}006$ см$^{-4}$). Следует отметить, что эти параметры сильно варьируются в зависимости от физико-географических условий; таким образом, данные значения являются среднестатистическими и в большинстве модельных расчетов задаются по умолчанию.

Исследовались пространственно-временной ход скорости вертикального потока (w), водности облачных (Q_{c}) и дождевых ($Q_{\text{г}}$) капель, ледности градин (Q_{i}) и облачных ледяных кристаллов (Q_{ic}), интенсивности дождя ($i_{\text{г}}$) и града (i_{i}) у подстилающей поверхности, а также временной ход высоты верхней границы облака ($H_{\text{вг}}$), частоты молниевых разрядов (f), и суммарное количество молниевых разрядов за период модельного времени (N).

В результате расчетов получено развитие мощного осадкообразующего грозового Cb с верхней границей, достигающей 16,9 км. При этом его нижняя граница располагалась достаточно высоко (около 2,5 км), что подтверждается данными радиолокационных наблюдений. В максимуме w достигает 53,9 м/с, Q_{c} – 2,5 г/м^3, $Q_{\text{г}}$ – 6,0 г/м^3, Q_{i} – 8,5 г/м^3, Q_{ic} – 2,7 г/м^3. Все эти значения характерны для грозо-градового облака, однако высокая нижняя граница и низкая относительная влажность в подоблачном слое способствуют таянию градин и испарению всех осадков в целом. Таким образом, интенсивность града у подстилающей поверхности близка к нулю (максимум составляет 0,1 мм/ч). Наблюдалась сильная электризация облака и, как следствие, значительная молниевая активность. Общее число разрядов за период моделирования (100 мин, при этом облако образовалось на 20-й минуте) составило 28, наибольшая частота разрядов (в пересчете на 6-минутные интервалы) – 1,2 мин$^{-1}$.

Далее выполнена серия численных экспериментов с варьированием выбранных параметров. Подчеркнем, что в реальных условиях влияние аэрозоля на облачные процессы является комплексным. Однако численное моделирование позволяет варьировать те или иные факторы при прочих равных условиях и тем самым анализировать значимость тех или иных процессов. Сначала варьировался параметр N_{0r} (при фиксированном $N_{0i} = 0{,}006$ см$^{-4}$). Основные результаты расчетов приведены в табл. 1. Представлены также значения коэффициента экстремальности некоторых величин (отношение максимальных по координатам и времени значений в исследуемом и опорном случае).

Таблица 1. Изменение основных параметров облака и осадков при варьировании параметра N_{0r}

Величина	N_{0r}, см$^{-4}$				
	0,08	0,16	0,24	0,32	0,64
$\max_t H_{\text{вг}}$, км	16,9	16,9	16,9	17,1	16,9
$\max_{x,y,z,t} w$, м/с	53,9	55,1 (1,02)	55,0 (1,02)	54,8 (1,02)	53,8 (1,00)
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{c}}$, г/м^3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{г}}$, г/м^3	6,0	6,7 (1,12)	7,2 (1,20)	7,6 (1,27)	8,5 (1,42)
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{i}}$, г/м^3	8,5	10,6 (1,25)	11,0 (1,29)	11,6 (1,36)	13,2 (1,55)
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{ic}}$, г/м^3	2,7	2,7 (1,00)	2,7 (1,00)	2,7 (1,00)	2,7 (1,00)
$\max_{x,y,t} i_{\text{г}}$, мм/ч	138,9	139,9 (1,01)	138,7 (1,00)	138,0 (0,99)	132,9 (0,96)
$\max_{x,y,t} i_{\text{i}}$, мм/ч	0,1	0,1 (1,00)	0,2 (2,00)	0,3 (3,00)	0,7 (7,00)

В скобках даны коэффициенты экстремальности для некоторых величин по отношению к случаю N_{0r} =0,08 см$^{-4}$. Величина f рассчитывается по интервалам длительностью 6 мин.

При увеличении N_{0r} имел место ожидаемый рост максимальных значений $Q_{\text{г}}$ и Q_{i}, так как дождевые капли долго накапливались в облаке, не выпадая. Их выпадение замедлялось вследствие уменьшения размеров, а следовательно, и скоростей седиментации (несмотря на рост массы дождя, его интенсивность у Земли, наоборот, уменьшалась). Поскольку диссипация облака происходила медленнее и восходящий поток длительное время продолжал существовать, соответственно, в нем накапливалась также и достаточно большая масса градин. В связи с тем, что для них распределение по размерам было задано фиксированным, интенсивность града у подстилающей поверхности с ростом N_{0r} увеличивалась. Молниевая активность облака с изменением N_{0r} практически не изменилась, так как для данного случая электризация облака практически полностью определялась ледяной фазой.

В табл. 2 приведены аналогичные результаты расчетов при варьировании параметра N_{0i} (при фиксированном $N_{0r} = 0{,}08$ см$^{-4}$).

Таблица 2. Изменение основных параметров облака и осадков при варьировании параметра N_{0i}

Величина	N_{0i}, см$^{-4}$					
	0,006	0,012	0,018	0,024	0,03	0,06
$\max_t H_{\text{вг}}$, км	16,9	17,3	17,3	17,3	17,3	17,5
$\max_{x,y,z,t} w$, м/с	53,9	55,5 (1,02)	57,2 (1,06)	58,6 (1,08)	59,8 (1,10)	62,2 (1,15)
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{с}}$, г/м^3	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{г}}$, г/м^3	6,0	5,1 (0,85)	4,5 (0,75)	4,1 (0,68)	3,8 (0,63)	3,0 (0,50)
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{i}}$, г/м^3	8,5	6,8 (0,80)	6,0 (0,70)	5,7 (0,67)	5,4 (0,63)	3,1 (0,36)
$\max_{x,y,z,t} Q_{\text{iс}}$, г/м^3	2,7	2,7 (1,00)	2,7 (1,00)	2,9 (1,07)	3,0 (1,11)	4,6 (1,70)
$\max_{x,y,t} i_{\text{г}}$, мм/ч	138,9	112,8 (0,81)	95,0 (0,68)	77,0 (0,55)	66,5 (0,48)	44,2 (0,32)
$\max_{x,y,t} i_{\text{i}}$, мм/ч	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

В скобках даны коэффициенты экстремальности для некоторых величин по отношению к случаю N_{0i} =0,006 см$^{-4}$. Величина *f* рассчитывается по интервалам длительностью 6 мин.

Из таблицы видно, что сдвиг диапазона размеров градин в сторону уменьшения (увеличение N_{0i}) приводит к заметному уменьшению интенсивности осадкообразования. Поскольку твердая фаза для данного случая составляет значительную часть объема облака, изменение спектра ее распределения по размерам становится определяющим. Ослабление осадкообразования приводит к замедлению диссипации облачной конвекции. Это приводит к тому, что с ростом N_{0i} увеличиваются как максимальное значение скорости восходящего потока, так и высоты верхней границы облака. С увеличением N_{0i} несколько уменьшается молниевая активность. Однако это уменьшение незначительно (с 28 до 27 разрядов). Связано это, по-видимому, с тем, что уменьшение количества электризующихся частиц компенсируется медленной диссипацией облака и, следовательно, более длительным существованием заряженных областей.

На рис. 1 приведены изоповерхности значений водности дождевых капель и ледности градин для разных моментов времени, соответствующих разным стадиям эволюции облака, для двух случаев: N_{0i} =0,006 см$^{-4}$ (фоновая атмосфера) и N_{0i} =0,06 см$^{-4}$ (сильное аэрозольное загрязнение). Видно, что для второго случая значение массы осадков оказывается меньшим не только в максимуме, но и практически во всем занятом осадками объеме.

Заключение

С помощью численной нестационарной трехмерной модели выполнено численное моделирование конвективного облака для случая аэрозольного загрязнения в окрестностях Пекина. Варьировались различные микрофизические параметры капель и ледяных частиц, которые зависят от аэрозольного загрязнения атмосферы.

1. В условиях высокой нижней границы конвективных облаков жидкокапельная влага играет сравнительно небольшую роль в процессе его эволюции, в том числе, в процессе формирования электрической структуры. В связи с этим влияние аэрозольного загрязнения на спектр размеров капель для данного случая не оказывает существенного влияния на характеристики облака.

2. Изменение спектра размеров градин в сторону уменьшения под действием повышенного аэрозольного загрязнения оказывает существенное влияние на эволюцию динамики, микроструктуры и электрического состояния облака. Уменьшается количество осадков как в облаке, так и на подстилающей поверхности (град вообще перестает образовываться, а интенсивность дождя у земли при увеличении параметра Маршалла – Пальмера в 10 раз уменьшается на 78%). Однако молниевая активность облака изменяется слабо.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант БРИКС_т 18-55-80020) и гранта 2018YFE0101200 (у соавторов из Китая), с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М. В. Ломоносова [2], с использованием вычислительных ресурсов суперкомпьютерного центра Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (http://www.spbstu.ru), с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса ИВЦ Росгидромета.

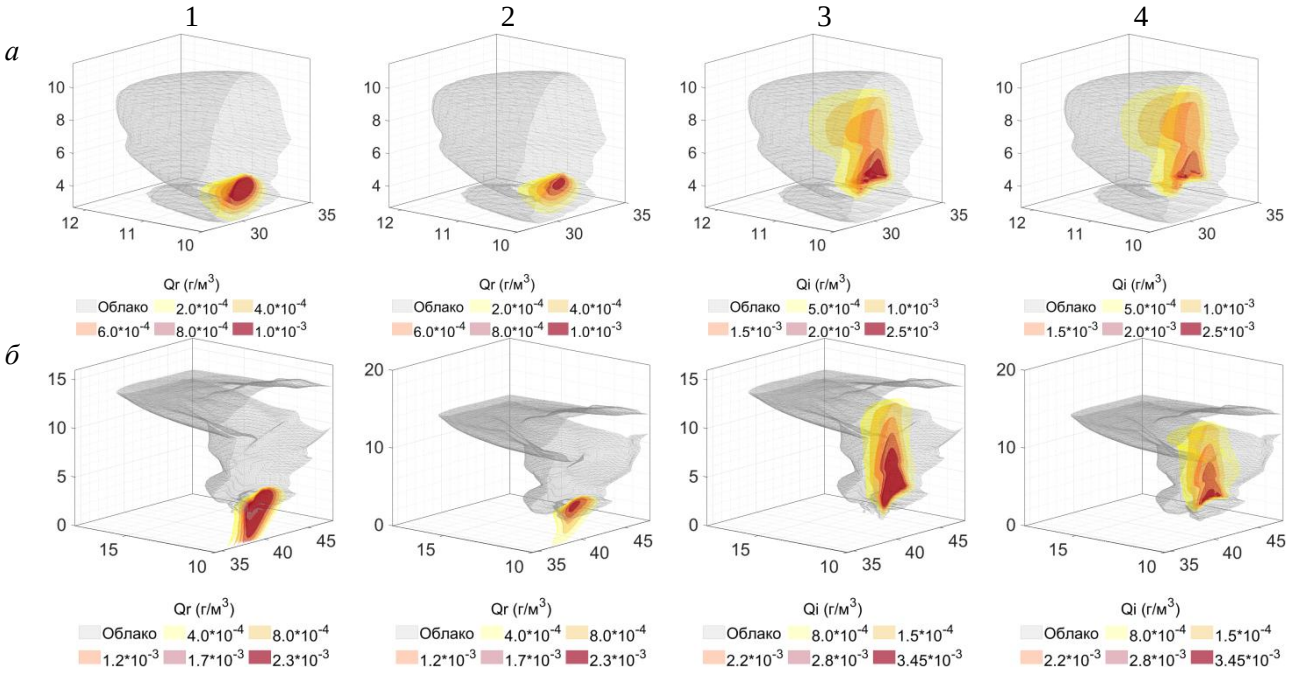


Рис. 1. Изоповерхности водности дождевых капель (г/м^3) для N_{0i} =0,006 см$^{-4}$ (1) и N_{0i} =0,06 см$^{-4}$ (2) и изоповерхности ледности градин (г/м^3) для N_{0i} =0,006 см$^{-4}$ (3) и N_{0i} =0,06 см$^{-4}$ (4): *а* – для *t*=2200 с, *б* – для *t*=3000 с.

Литература

1. Веремей Н. Е., Довгалюк Ю. А., Затевахин М. А., Игнатьев А. А., Морозов В. Н., Пастушков Р. С. (2016). Описание базовой численной нестационарной трехмерной модели конвективного облака // Труды ГГО. Вып. 582. – С. 45 – 91.

2. Воеводин Вл. В., Жуматий С. А., Соболев С. И., Антонов А. С., Брызгалов П. А., Никитенко Д. А., Стефанов К. С., Воеводин Вад. В. Практика суперкомпьютера «Ломоносов» // Открытые системы. – Москва: Издательский дом «Открытые системы», 2012. – 7 с.

МНОГОЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ К ВОЛХОВСКОМУ ВОДОХРАНИЛИЩУ

Дубровская К.А.
ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

LONG-TERM CHANGE IN WATER INFLOW TO THE VOLKHOV RESERVOIR

Dubrovskaya K.A.
State Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

Выполнен расчет притока воды к озеру Ильмень и к речной части Волховского водохранилища. В результате сравнительного анализа средних значений притока до 1977г. и после показано синхронное для всего бассейна, но разнонаправленное внутригодовое изменение месячных значений притока в зимний и весенне-летний сезоны.

The flow of water to Lake Ilmen and to the river part of the Volkhov reservoir has been calculated. As a result of comparative analysis of the average inflow before and after 1977 synchronous for the entire basin, but differently directed intra-annual changes in the monthly inflow values in the winter and spring-summer seasons were detected.

В соответствии с результатами гидрологических наблюдений в последние годы изменились характеристики стока рек в бассейне озера Ильмень и Волховского водохранилища. Наблюдаются изменения во внутригодовом распределении стока, связанные с изменениями климата. В практическом плане интерес представляет анализ изменений притока к Волховскому водохранилищу, по результатам которого возможна корректировка Правил использование его водных ресурсов.

Для расчета притока воды к озеру Ильмень и бокового притока к Волховскому водохранилищу использованы многолетние данные наблюдений за расходами воды на постах Росгидромета в замыкающих створах рек в период с 1945 по 2019 гг.. Основными притоками к озеру Ильмень являются реки Мста, Ловать, Шелонь и Пола, а для речной части Волховского водохранилища – Кересть, Пчевжа и Тигода. Боковой приток к Волховскому водохранилищу рассчитан с территории частного водосбора от створа истока р.Волхов до Волховского гидроузла.

Расчет притока и для озера Ильмень, и для Волховского водохранилища с изученной площади водосбора произведен как сумма расходов воды в замыкающих створах рек, на которых производятся наблюдения, а с неизученной площади с помощью осредненного модуля стока рек-аналогов.

Для оценки многолетних изменений притока воды в оз.Ильмень и вдхр.Волховское построен график среднегодовых расходов суммарного притока в оз.Ильмень и бокового притока в вдхр.Волховское (рисунок 1). Очевидно, что средний приток после конца 1970-х годов несколько выше, чем в предыдущий период. Так среднегодовое значение притока в период 1978-2019гг. по отношению к 1945-1977гг. увеличился на 107 $м^3/с$ к оз.Ильмень, в то время как к частому водосбору вдхр.Волховское всего лишь на 6 $м^3/с$.

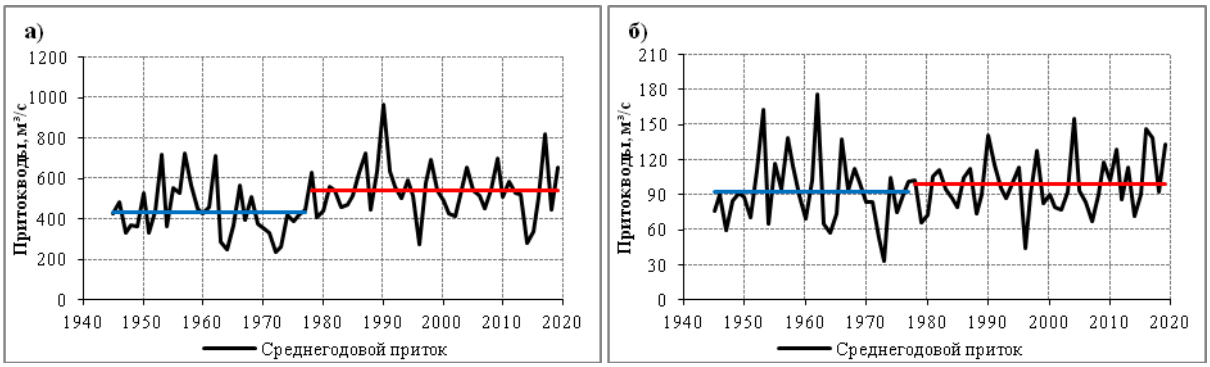


Рис. 1 – Многолетние изменения среднегодового притока а) к оз.Ильмень и б) боковой приток к вдхр.Волховское

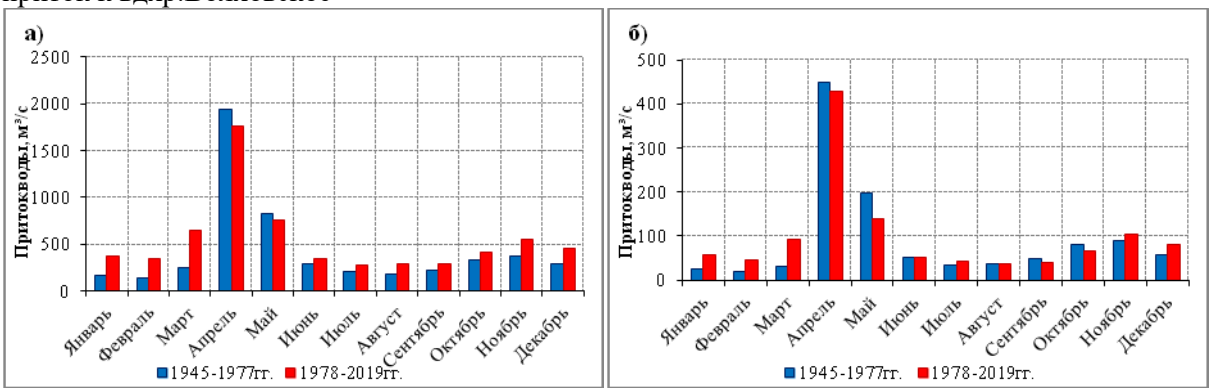


Рис. 2 – Изменение внутригодового распределения притока а) к оз.Ильмень и б) боковой приток к вдхр.Волховское

Как видно из рисунка 2 увеличение средних значений притока за период 1978-2019гг. по отношение к 1945-1977гг. в зимнюю межень с ноября по март наблюдается как к оз.Ильмень, так и с частного водосбора вдхр.Волховское, а в период половодья апреле и мае наблюдается заметное уменьшение. В летне-осенний период произошло увеличение средних значений притока к оз.Ильмень, а к вдхр.Волховское наблюдается отсутствие изменений средних значений бокового притока или его небольшое увеличение (июль). Уменьшение среднемесячных значений притока в Волховское водохранилище в период 1978-2019гг. по сравнению с 1945-1977гг. наблюдается в сентябре-октябре.

Наибольшее увеличение средних значений притока в период 1978-2019гг. по сравнению с предыдущим периодом наблюдается в марте. Так, среднемесячный приток к оз.Ильмень увеличился на 400 м^3/с, а с частного водосбора вдхр.Волховское - на 65 м^3/с. Наибольшее уменьшение среднемесячного притока к оз.Ильмень приходится на апрель (на 177 м^3/с), а к вдрх.Волховское на май (на 60 м^3/с).

На фоне выявленных изменений в закономерности внутригодового распределения притока иногда происходят аномальные ситуации. Так, весной 2019 года наблюдалась малая водность, в августе выпало большое количество осадков, а в ноябре 2019 года прошел дождевой паводок с уровнями, превысившими максимумы наблюдавшимися с 1881 года.

Значение суммарного притока в оз.Ильмень и Волховское водохранилище в ноябре 2019г. было больше на 1100 м^3/с, чем в весеннее половодье того же года (рисунок 3), и на 1170 м^3/с больше, чем в дождевой паводок 2009г., когда наблюдалось предыдущее наибольшее значение среднемесячного притока в ноябре месяце за период с 1945 по 2018гг.

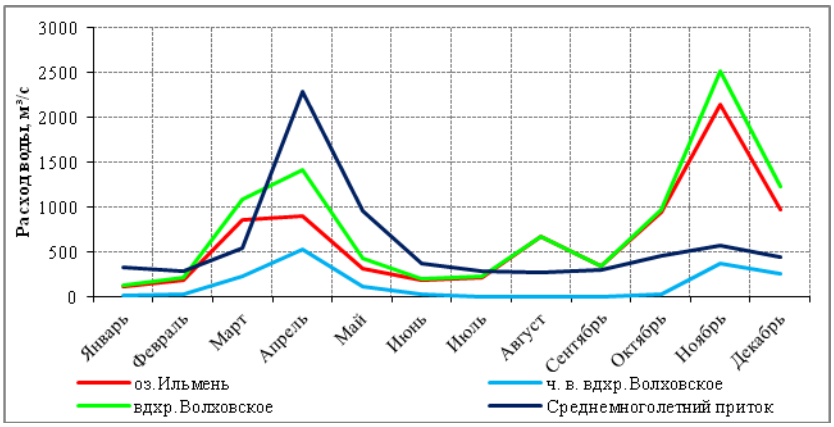


Рис. 3 – Внутригодовое распределение притока в 2019г. к оз.Ильмень, бокового притока к вдхр.Волховское, суммарного притока к вдхр.Волховское и его среднемноголетнего притока.

В тоже время расходы бокового притока к вдхр.Волховское в ноябре 2019г. не превысили апрельские значения. Расходы притока к оз.Ильмень в ноябре превысили расходы в апреле в 2,4 раза и в 4,8 раза его среднемноголетнее значение в ноябре за 1945-2018гг. (рисунок 4).

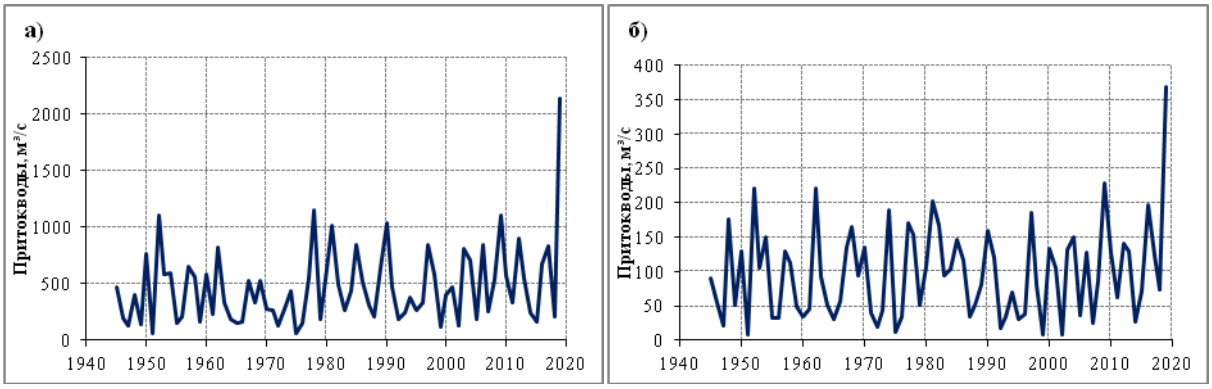


Рис.4 – Многолетние изменения среднемесячного притока в ноябре а) к оз.Ильмень и б) боковой приток к вдхр.Волховское

Боковой приток к вдхр.Волховское в ноябре 2019г. превысил максимальное значение притока в ноябре в 2009г. на 140 м^3/с, и в 3,9 раза больше среднемноголетнего значения притока в ноябре за 1945-2018гг.

Таким образом, расчет и анализ погодичных значений притока к оз.Ильмень и Волховскому водохранилищу указывают на заметные внутригодовые изменения этой важнейшей характеристики, что должно учитываться при уточнении характеристик эксплуатации водохранилища.

Исследование выполнено в рамках работы по Государственному контракту №15/20 от 11 мая 2020г.

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ АКВАКУЛЬТУРЫ В КИТАЕ

Дун Сянли, М. Б. Шилин
РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия, (Д.С.)

CHINESE AQUACULTURE

Dong Xiangli, Shilin M. B.
Hydro-meteorological University, St. Petersburg, Russia, s (S.M.B.),(D.X.)

Рыбы - самая разнообразная группа позвоночных в Китае. Число семейств, родов и видов рыб намного превышает сумму семейств, родов и видов наземных позвоночных. Мы представляем распределение аквакультуры в Китае, виды основных пресноводных и морских рыб, способы рыбоводства, современное состояние и проблемы рыбоводства в Китае.

Введение

Рыбоводство - важная часть экономики Китая, одна из самых быстрорастущих отраслей в крупномасштабном сельском хозяйстве, и стоимость его продукции продолжает расти. Тот сектор предоставляет большое количество возможностей для трудоустройства и увеличения доходов трудящихся в сельских районах Китая. Основными провинциями пресноводного рыбоводства во внутренних водоемах Китая являются Хубэй, Цзянсу, Гуандун, Хунань, Аньхой, Цзянси, Шаньдун и порядок производства [1] (рис. 1). Основные провинции морской аквакультуры - Шаньдун, Фуцзянь, Гуандун, Ляонин и Чжэцзян [2] (рис. 2).

Рис. 1 Основные районы

распространения пресноводной аквакультуры в Китае. Красный треугольник - китайская провинция пресноводной аквакультуры

Рис. 2 Основные районы распространения морской аквакультуры в Китае. Красная рыба - китайская провинция пресноводной аквакультуры

В настоящее время толстолобик, пёстрый толстолобик, белый амур и чёрный амур называются «четырьмя основными домашними рыбами в пресной воде» [3]. Основные виды, культивируемые в условиях морской аквакультуры в Китае: большой желтый горбыль, тюрбо, морской окунь, морской окунь, тарань, красный горбыль, красный морской горбыль, копи, иглобрюхие, морская камбала и желтохвост. Добыча этих 10 видов рыб в Китае очень высока [4, 5].

Современное состояние и проблемы рыбоводства в Китае. Разнообразие выращиваемых видов невелико: например, в пресноводной аквакультуре четыре вида составляют значительную долю [7]. В связи с увеличением рыбопромысловых мощностей состояние морских рыбных ресурсов Китая претерпело серьезные изменения, и общий объем ресурсов значительно сократился. Лов некоторых традиционных рыболовных объектов перестал быть рентабельным а технологии их выращивания в аквакультуре еще не разработаны [8]. Отмечено ухудшение состояния водной экологической среды, проявляющееся в участившихся случаях «красных приливов» [9]. Заражение рыб бактериями, вирусами и паразитами, использование антибиотиков и химических препаратов для лечения инфекционных заболеваний приводит к снижению у рыб иммунитета, накоплению остатков лекарств в мясе рыб и загрязнению водной среды. Длительное использование в пищу рыбной продукции с остатками лекарственных препаратов вредит здоровью человека.

Методы решения проблем рыбоводства. В настоящее время в Китае ведутся интенсивные исследования по всестороннему освоению морских ресурсов, осуществляется энергичное продвижение высокоэффективной аквакультуры, внедряются методы экологически безопасного получения качественных водных продуктов, усиливаются исследования в области контроля экологической среды

рыбоводства, профилактики заболеваний культивируемых рыб, оптимизации рациона и состава кормов [10]. В целях защиты рыбных ресурсов китайское правительство ввело в действие систему моратория на летнюю рыбную ловлю вдоль морского побережья Китая [11] и в ключевых внутренних рыболовных районах и реализовало общенациональный план «нулевого увеличения» объемов рыболовства [12]. Оптимизируется производственная структура, энергично развивается разведение новых объектов, позволяющих получать высококачественную продукцию. Продвигаются «экологически здоровые» технологии аквакультуры. В целях оптимизации управления отраслью аквакультуры проводится разумное планирование размещения аквакультуры. Усиливается надзор и управление интродукцией, производством и использованием посадочного материала, а также кормов и лекарственных препаратов. Разрабатываются бактериальные и вирусные вакцины для рыб. Внедряется новый метод разработки генетических вакцин для предотвращения загрязнения водной среды и ее защиты в интересах здоровья человека. Авторы настоящей публикации изучают иммунный ответ молекул рецепторов маннозы большого желтого горбыля (*Larimichthys crocea*) и хемокинов русской радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) после заражения бактериями. Анализируется иммунный механизм для подготовки к разработке генетических вакцин. Результаты исследования (рис. 3) будут способствовать развитию пресноводной аквакультуры как в Китае, так и на Северо-Западе России, в частности - в Ленинградской области.

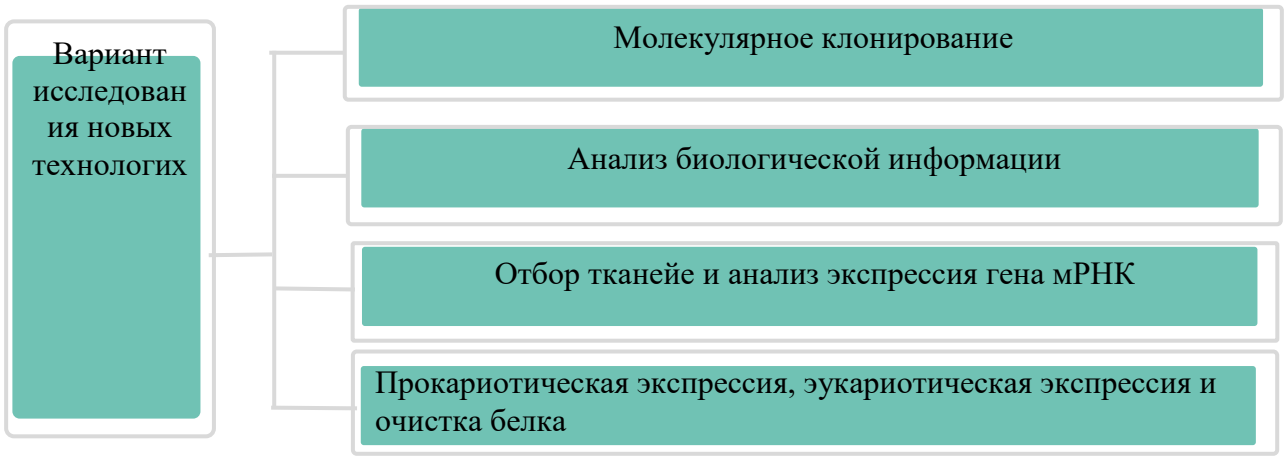


Рис. 3. План исследования новых технологий для защиты окружающей среды аквакультуры -генная вакцинация.

Литература

1. Wang Z, Lu H, Han Z. An analysis of the spatial and temporal differentiation and driving factors of the marine resource curse in China. Ocean & Coastal Management. 2018 155:60-7.

2. Zhang Q, Yang S, Species, geography distribution and resource of chondrichthian fishes of China. *Journal of Xiamen University (Natural Science Edition)*. 2005 044(z1):207-211.

3. Zhong C, Wei L, Lai C. Freshwater fish farming technology and research on improving the benefits of freshwater fish farming. *China Animal Husbandry and Veterinary Digest*. 2016 08:88.

4. Liu M, Sun G, Wang Z. Analysis of the status quo of marine fish farming in China. *Contemporary aquatic products*. 2019 419:64-67.

5. Jiafu L, Guangliang H, Fangjing X. Position of Native Species in Marine Fish Culture in China. *Modern Fisheries Information*. 2004 10:12-14.

6. Yang J, Pan X, Chen X, Wang X, Zhao Y, Li J, et al. Current status of artificial reproduction and release of freshwater fish in China. *Zoological research*. 2013 04:22-35.

7. Zhang J. A preliminary study on the problems and countermeasures in aquaculture. *Farm Science and Technology*. 2018 000(4):121.

Wang J, Liu X, Wang G. The production capacity of marine fishery resources and its sustainable development countermeasures[J]. *Hubei Agricultural Mechanization*. 2020 245(08):17-17.

9. Li C. Talking about the pollution hazards and comprehensive prevention measures of the breeding industry. *China livestock and poultry seed industry*. 2020 16 (4):31.

10. Cabello F, Zhang H, HeL. Extensive use of preventive antibiotics in the aquaculture industry: a growing human and animal health and environmental problems. *Freshwater fisheries*. 2016 46(6):109-112.

11. Yu J, Hu Q, Yuan H, Chen P. Effect assessment of summer fishing moratorium in Daya Bay based on remote sensing data. *South China Fisheries Science*. 2018 14(3):1-9.

12. Huang X. Talking about the protection of fishery resources by the summer fishing moratorium policy in my country. *China Agricultural Information*. 2016 16:25.

S u m m a r y. Fish are the most diverse group of vertebrates in China. In this article, we mainly present the distribution of aquaculture in China, the main freshwater and marine fish species in China, the way of fish farming in China, the current state and problems of fish farming in China.

АРКТИКА ОНЛАЙН: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИМЕДИА В ОСМЫСЛЕНИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АРКТИКИ в XXI ВЕКЕ

Дунаева Ю.Г.
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ARCTIC ONLINE: THE USE OF MULTIMEDIA IN THINKING THE ARCTIC OPPORTUNITIES IN THE XXI CENTURY

Dunaeva Yu.G.
Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

Россия как лидер полярных держав в условиях информационного общества активно формирует объективный и научный образ Арктики, используя мультимедиа для анализа ее культурного и природного потенциала

Russia, as the leader of the polar powers in an information society, is actively shaping an objective and scientific image of the Arctic, using multimedia to analyze its cultural and natural potential

Введение

Арктика является стратегически важным вектором развития России. Цифровизация привлекла к арктической теме повышенное внимание социальных медиа, но не всегда тема Арктики анализируется научно и объективно. На основе анализа мультимедийных материалов, связанных с Арктикой, нами были выявлены актуальные вопросы арктической проблематики, ресурсы ИКТ при изучении Арктики и взаимосвязь между глубиной изучения арктических проблем и сетевой активностью молодежной среды.

Теория и методология

Масштабные арктические проекты стали главной темой современного публичного дискурса. В 2016 году Госкомиссия по вопросам развития Арктики начала разработку «Арктического ГОСТа». «Стратегия Арктики» (2013−2020 гг.) продолжается новым российским документом - «Арктика 2035» [1]. С 2015 г. в России ведется разработка аналитической координационной программы «Комплексные научные исследования Арктики и Антарктики» [2].

Методологическим инструментом исследования является теория коллективных действий молодежи в образовательной среде [3], исследования Бимбера, Фэнэгина и Штоля [4] посвящены влиянию мультимедиа на коллективные действия, М. Постер изучает децентрализованную коммуникационную сеть [5].

Проблемы использования мультимедиа

Масштаб задач в Арктической зоне РФ требует эффективного международного сотрудничества, которое устанавливает направления, характер, механизмы действий и мер по интеграционному использованию полярных широт. В силу ряда ограничений реальное использование потенциала Арктики не является тождественен заданной теоретической модели. К числу таких ограничений относятся цикличность экономического развития государств, ошибки при разработке имплементации Арктической стратегии, система экологического надзора в Арктике. При этом традиционные СМИ уступили свое место интернету в целом и социальным медиа в частности. Это размывает границы публичной сферы и лишает классические научные коллективы вузов и академических институтов монополии на формирование научного знания и общественного мнения.

Информационная эпоха превращает изучение и исследование Арктики из отрасли научного знания в сферу массового взаимодействия, как со знаком «плюс», так и с противоположным знаком «минус». Именно цифровые медиа формируют сегодня социально-политические тренды арктических исследований. В условиях цифровизации мы наблюдаем парадоксальное увеличение мифов, мифологических персонажей, которые несут больше смысловой нагрузки, чем реальные лица. Люди, далекие от науки, владея интернет-стратегиями, собирает многотысячные аудитории в сетях Facebook, Twitter, ВКонтакте, Youtube, Instagram, Одноклассники, Medium и т.д., где и продвигают свои геополитические концепции, стирая границы между реальным и вымышленным.

Социальные медиа основаны на рекламной бизнес-модели, следовательно, их задача как можно дольше заставлять нас кликать, скроллить и комментировать. Мы видим последовательное движение к популизму и некритическое использование фактов при рассмотрении арктических проблем у серьезных научных сообществ маститых ученых и академических объединений. Дело в том, что публичный дискурс в сегменте социальных медиа формируется «горизонтально»: как авторитетные ученые, так и рядовые потребители информации обладают одинаковыми коммуникационными возможностями, и «субъект-объектная» коммуникация превращается в «субъект-субъектную», а посредник - высокоцентрализованная медиасистема - заменяется на горизонтальные потоки информации между гражданами.

В дистанционном дискурсе по проблемам Арктики большинство текстов апеллирует к эмоциям аудитории, для постов характерно сгущение красок и широкое использование экспрессивной лексики. Социальные медиа используют выборочные доказательства (плакат, карикатура, частушка), а не глубокое изучение арктических сюжетов в архивных фондах и других корректных источниках. Молодежь поддается на провокацию, не имея целостного объективного понятия о ситуации в Арктике, ее содержании, целях, инструментах и результатах.

Все это повышает ответственность науки в выстраивании арктического будущего России. Важно, что изменяя публичный дискурс с помощью социальных медиа, мы меняем социальную реальность, то есть само общество в целом, и ситуацию в Арктике, в частности.

Ответственность науки

В России центром изучения Арктики является Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ) [6]. Достижения российских ученых-полярников – это высокоширотные экспедиции «Север», открытие подводного хребта Ломоносова, дрейфующие станции «Северный полюс», программа Полярный эксперимент (ПОЛЭКС), первые плавания подо льдами российских атомных подводных лодок, регулярные плавания по трассе Северного морского пути (СМП) и т.д. Ученые Института впервые в мире издали «Атлас Арктики» (1985 год), удостоенный Государственной премии, и создали цифровые климатические атласы океана, атмосферы, и морского льда. Каждый год работает около десяти российских экспедиций в Арктике, главной из которых является Высокоширотная арктическая экспедиция (ВАЭ) [7], целью которой является мониторинг природной среды в арктических широтах, океанографические, метеорологические, ледовые наблюдения, исследования атмосфера - лёд – океан и т.д.

Арктическая политика должна включать использование мультимедиа. В настоящее время мировые исследовательские центры проводят опросы и рейтинги использования социальных сетей (в частности, TNS Digital life), охватывая Россию, Украину и некоторые другие страны СНГ. При выявлении тенденций и характеристик онлайнового поведения молодежи следует рассмотреть следующие современные

теории, касающиеся влияния интернета на социально-политическую активность и научно-образовательную активность граждан.

Первая концепция выражает точку зрения, согласно которой Интернет обладает «преобразующим потенциалом» благодаря тесному взаимодействию людей. Исследователи Л. Гроссман [8], Г. Браунинг [9], Б. Бимбер [10], А. Коррадо [11] и Х. Рейнгольд [12] сосредотачиваются на политических реалиях Соединенных Штатов и утверждают, что начинается эпоха "электронной демократии".

Вторая точка зрения утверждает, что в интернете создаются новые механизмы социальной мобилизации и управления, в том числе студенческой аудиторией [13]. С третьей точки зрения (теория ускорения плюрализма) Интернет способствует переходу к гибкой системе деятельности, которая менее зависимы от авторитетов (преподавателей) и организаций (университетов) [14]. Научные вычисления фиксируют повышенную избирательность молодежи в выборе задач и способов получения информации.

Методы изучения распространения информации в социальных сетях во многом основаны на использовании инструментов контент-анализа. В связи с этим представляют интерес исследования Papacharissi [15], которое подтвердило потенциальное влияние дискуссий в Интернете на ход реальных научно-образовательных процессов. Д. Линдерс обращается к социальным медиа в своих исследованиях, оценивая роль участников как партнеров в получении знания, а не просто как пассивных потребителей информации, в данном случае на арктическую тематику [16]. З. Туфекчи отмечает такие недостатки социальных медиа, как простота манипулирования [17].

Недостаточное внимание к сетевому общению пользователей может привести к изоляции от реальной ситуации с арктическими знаниями. Экспертные исследования необходимы для лучшего понимания существующих практик и препятствий с помощью социальных медиа. Согласно опыту других регионов (особенно Европейского Союза), эффективное использование мультимедиамедиа может способствовать социальной мобилизации в правильном направлении, а следовательно - способствовать переходу к более эффективной модели управления Арктикой.

Выводы и рекомендации

Что необходимо сделать, чтобы максимизировать выгоду от интеграции государств по презентации Арктики в информационном пространстве, т.е. сократить разрыв между потенциальными и фактическими эффектами арктической дипломатии?

1. Создание комплексной модели Арктики в интернете
2. Проведение количественного и качественного анализа потенциального мультимедийного эффекта Арктики для государств мирового сообщества
3. Выявление факторов, снижающих результативность использования виртуального пространства и сокращающих значимость Арктики в каждом из государств мира
4. Повышение роли науки, которая помогает молодому поколению использовать правильные методики работы с медиа-средой как источников информации для формирования у них объективных знаний, основанных на достоверной информации
5. Изучение долгосрочных эффектов влияния социальных медиа на формирование научных взглядов в информационную эпоху на примере арктической проблематики
6. Выявление ключевых концептуальных метафор, используемых пользователями социальных сетей, связанных с арктической проблематикой.

Таким образом, необходимо создать и совершенствовать мультидмедийную модель Арктики в целях достижения максимальной конвергенции потенциальных и фактических результатов ее освоения.

Литература:

1. «Стратегия-2035» // https://arctic2035.ru/info/ [Дата обращения 21.11.2020]

2. Арктика: настоящее и будущее. Форум. 5-7 декабря 2017 г. // http://www.forumarctic.com/upload/conf2017/agenda/Project_Programm_FANB_01.12.2017.pdf [Дата обращения 02.12.2020]
3. Olson, M.: The logic of collective action. Harvard University Press, 1965
4. Bimber, B., Flanagin, A., Stohl, C.: Reconceptualising collective action in the contemporary media environment. Communication Theory, 4 (15), 365-388 (2005)
5. Poster, M.: The second media age. Polity, Cambridge, 1995
6. ААНИИ // http://www.aari.ru/ [Дата обращения 25.11.2020]
7. Высокоширотная арктическая экспедиция (ВАЭ) // http://www.meteorf.ru/activity/water/arct/arctic/ [Дата обращения 27.11.2020]
8. Grossman, L.K. The Electronic Republic: Reshaping Democracy in the Information Age. New York: Viking, 1995
9. Browning, G. Electronic Democracy: Using the Internet to Influence Politics. Wilton, CT: Online Inc., 1996
10. Bimber, B. The Internet and Political Transformation: Populism, Community, and Accelerated Pluralism. Polity. XXXI (1). 1998. P. 133-160
11. Corrado, A., Firestone, Ch., eds. Elections in Cyberspace: Toward a New Era in American Politics. Washington, DC: Aspen Institute, 1997
12. Rheingold, H. "A Slice of Life in my Virtual Community," in Global Networks, ed. L. M. Harasim. Cambridge, MA: MIT Press, 1993
13. Merkulov P.A., Balashov A.N.: Online Communities of Political Parties: A Comparative Analysis of Russian and Foreign Practices. Bulletin of the Volga Institute of Management, 3 (48) (2015). (in Russian)
14. Smith, A., Schlozman, K., Brady, H., Verba, S.: The Internet and Civic Engagement. Pew Research Center, (2009). http://www.pewinternet.org/2009/09/01/the-internet-and-civic-engagement/ [Дата обращения 25.11.2020]
15. Papacharissi, Z. (Ed.) A Networked Self: Identity, Community and Culture on Social Networked Sites. NY, Routledge, 2011
16. Linders, D.: From E-Government to We-Government: Defining a Typology for Citizen Coproduction in the Age of Social Media. Government Information Quarterly, 29 (4), 446-454 (2012)
17. Tufekci, Z.: Twitter and Tear Gas. The Power and Fragility of Networked Protest. Yale University Press, 2017

СОЛЕНЫЕ ОЗЕРА

Егоров А.Н.
Институт озероведения РАН- СПб ФИЦ РАН, Россия

SALT LAKES

Egorov A.N.
Institute of the Limnology RAS-SPb FIC RAS, Russia

На основе многолетних исследований соленых озер рассматривается их география, особенности гидрологического, гидробиологического и гидрохимического режимов, возможности их природопользования.

On the basis of many years of research of salt lakes, their geography, features of hydrological, hydrobiological and hydrochemical regimes, and the possibilities of their environmental use are considered.

Как показывает история развития лимнологии, ее становление как науки и основные ее достижения связаны с исследованиями пресноводных водоемов. В то же время, среди водных объектов нашей планеты широко распространены и наименее изучены соленые озера с различной степенью минерализации. Соленые озера встречаются, практически, на всех континентах [1], (Рис.1), в том числе и в Антарктиде. Координаты распространения соленых озер на Земном шаре ограничены 80-м градусом широты по обе стороны экватора [2]. Так, из 253 крупнейших озер Мира (с площадью водного зеркала не менее 500 км^2 к соленым относится 64 [3]. Только в географической зоне соленых озер СНГ насчитывается более 30 бессточных бассейнов современного соленакопления, к отдельным котловинам которых приурочено формирование соленых озер [4]. На долю пресных озер и рек приходится 0,009% всего объема вод Земного шара, а на долю соленых озер - 0,008% [5]. Без учета стока рек очевидно, что масса сосредоточенных в соленых озерах вод превышает объем пресных озерных вод. Изучение геоэкологии и природопользования соленых озер позволяет выявить новые аспекты лимнологии как комплексной, фундаментальной науки, имеющей широкое прикладное значение, учитывая, что около 600 млн. человек на Земном шаре живут в условиях аридных и семиаридных зон [6].

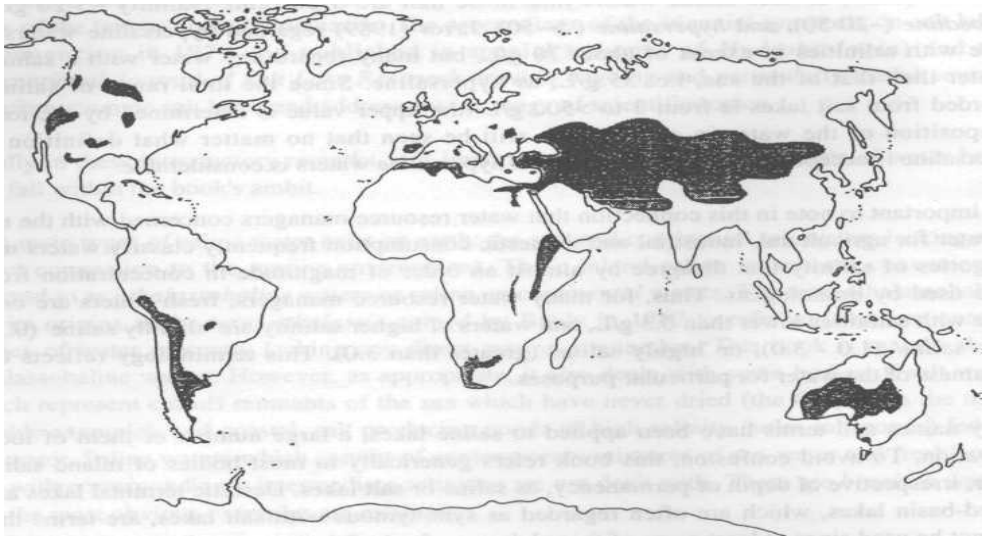


Рис.1 Распределение солёных озёр по Земному Шару (по: Williams, 1986)

По совокупности физико-географических, геохимических и гидрохимических признаков зон на территории СНГ выделены основные бассейны приморских и континентальных соленых озер (Рис.2). По географическому признаку соленые озера в пределах СНГ относятся к бассейнам внешнего морского и внутреннего континентального поверхностного и подземного стока. Среди бассейнов соленых озер внутреннего стока различаются сточные и бессточные бассейны. Первые формируются под воздействием азональных факторов, а вторые только в климатических зонах, где испарение преобладает над осадками. Отдельно следует отметить соленые озера антропогенного происхождения, образовавшиеся на месте горных выработок (оз. Развал и в Оренбургской области, оз. Merserburg Ost в восточной Германии и др.).

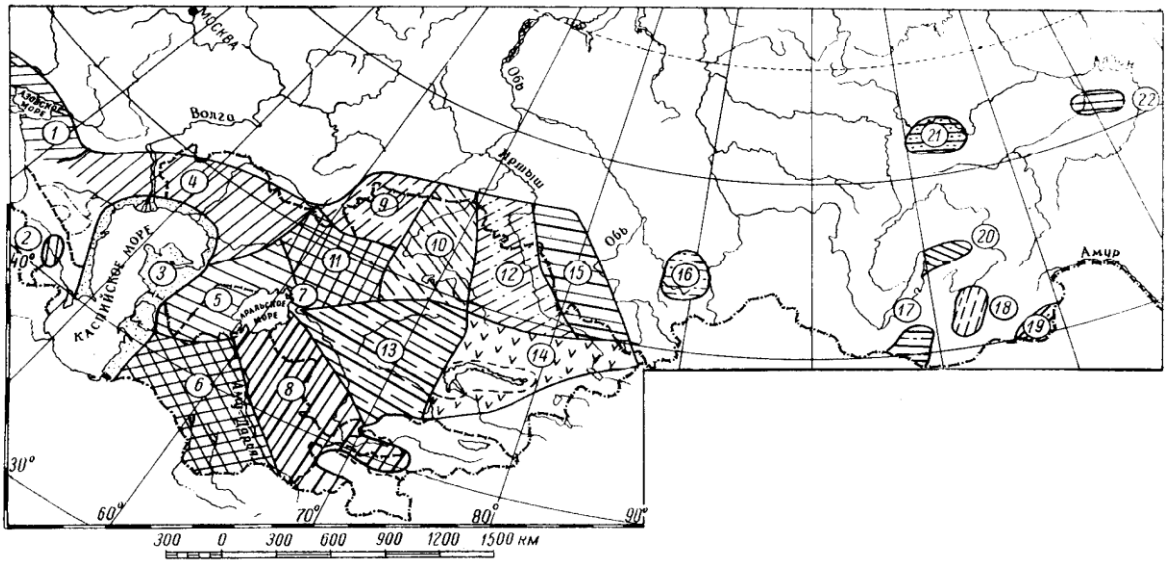


Рис.2. Бассейны солёных озёр России и СНГ

1-Азово-Черноморский бассейн приморских минеральных озёр (лиманы, лагуны, сиваши, озёра); 2-Кура-Тбилисский бассейн грузинских сульфатников; 3-Прикаспийский басен приморских и континентальных минеральных озёр; 4-Урало-Эмбенский бассейн приморских, смешанных и континентальных солёных озёр; 5-Усть-Уртский бассейн континентальных соляных озёр; 6-Каракумский бассейн континентальных соляных озёр и шоров; Бассейны приморских и континентальных соляных озёр: 7-Приаральский , 8-Кызылкумский, 9-Тоболо-Убаганский, 10-Ишимский, 11-Тургайский 12-Чу-Сары-Суйский, 13-Прииртышский, 14-Прибалхашский, 15-Кулундинский, 16-Минусинский, 17Селенгинский, 18-Ингодинский, 19-Аргунский, 20-Алгинский, 21-Кемпендяйский, 22-Абалахский.

Зона минеральных озер СНГ представляет собой широкую полосу степей, полупустынь и пустынь. География соленых озер подчинена физико-географической зональности, главным фактором влияния которой является климат. География некоторых соленых озер зависит от азональных факторов: орографии местности, геологического и гидрогеологического строения, тектоники и антропогенного фактора (добыча полезных ископаемых, строительство, сельскохозяйственные работы и т. д.).

Исследования соленых озер важны для таких дисциплин как экология (например, вопросы бедности видового состава гидробионтов, упрощенные трофические связи и т.д.), физиологии водных организмов и проблем их адаптации к экстремальным условиям, эволюционной биологии (например, проблемы ферментативного воздействия на галофилы), гидрофизики и гидрохимии (закономерности и особенности формирования термохалинной структуры), разработки нетрадиционных методов

ресурсосберегающих технологий и охраны окружающей среды. Соленые озера являются уникальным природным объектом для палеолимнологии. Наиболее выраженная, по сравнению с пресноводными водоемами, стратиграфия донных отложений дает большую информацию о роли климатических условий в эволюции флоры и фауны от прошлого к настоящему. В значительной степени это обусловлено тем, что соленые озера, благодаря особенностям своей физико-химической и биологической структуры, быстрее, чем пресные озера, реагируют на изменения внешних условий, приводящих к "мгновенному" (для естественных условий) формированию нового химического состава, изменению уровня воды, накоплению автохтонного и аллохтонного материала, что позволяет рассматривать их как удобные индикаторы внешних естественных и антропогенных изменений.

Практический интерес к соленым озерам до настоящего времени ограничивался, в основном, содержащимися в них минеральными ресурсами, предпринимались отдельные попытки освоить биологические и бальнеологические ресурсы. Но даже такой, сугубо утилитарный подход к соленым озерам не исчерпывает на сегодняшний день всех возможностей использования широкого спектра их природных богатств. Особенно это относится к России, в которой с распадом СССР и отходом многих соледобывающих регионов к территориям Казахстана, Средней Азии и Украины возникла проблема переоценки природных ресурсов соленых озер, обладающих широким спектром: минеральными (различные соли, цеолиты, уран, литий, бром, йод и т.д.), энергетическими (возможности преобразования тепловой энергии в электрическую), биологическими (культивация и добыча отдельных водорослей - Spirulina, Dunaliella, и важнейшей кормовой аквакультуры (Artemia salina) бальнеологическими (целебные грязи) и рекреационными [1,7]. В условиях современного глобального ухудшения качества и количества пресной воды важным является тот факт, что вода, которую притоки привносят в соленые озера, является дургим ценным минералом. Причем она является наиболее ценной до попадания в соленое озеро. На сегодня имеется ряд проектов, предусматривающих отвод пресных вод притоков от соленых озер. Вода соленых озер является также пригодной к эксплуатации. Большинство современных исследований этой проблемы связано с проблемами сельского хозяйства (вторичное засолением почв в отношении галотолерантности пищевых групп) и изучением сельскохозяйственного использования морских вод, а также рациональным использованием слабосоленых и иногда эфемерных вод в дополнение к пресным водам.

В широком спектре природных ресурсов соленых озер наименее изученными и используемыми сегодня являются энергетические ресурсы. Использование энергетических ресурсов соленых озер заключается в извлечении и преобразовании нетрадиционных видов тепловой энергии озера в электрическую посредством строительства небольших, экологически безопасных электростанций, способных обеспечивать электроэнергией определенные технологические процессы) и жизнеобеспечения социально-экономических инфраструктур в малообжитых, труднодоступных регионах. Среди соленых озер, существующих в природе выделяются озера с термодинамической структурой, обуславливающей формирование “парникового эффекта", так называемые гелиотермальные озера. Гелиотермальные озера особый тип мезотермических водоемов, в которых максимум температуры в период открытой воды расположен на некоторой глубине. Вследствие слабой изученности термохалинного режима соленых озер СНГ не представляется возможным оценить совокупные теплоэнергетические ресурсы всех гелиотермальных озер. Поэтому, в данном случае, ограничимся решением проблемы на примере материалов полевых исследований гелиотермального, бессточного озера Сассыккуль,

расположенного в горах Восточного Памира на высоте 3825 м. н.у.м на 73^{0}в.д. и 38^0 с.ш. Озеро Сассыккуль расположено в среднем течении р.Аличур в холодной, высокогорной пустыне [8]. В плане озеро элипсоидальное, вытянутое в северо-восточном направлении, со слабо изрезанной береговой линией. Котловина озера блюдцеобразная, площадь водного зеркала 8,92 км^2, средняя глубина 3,07 м., максимальная глубина 5,30 м. Берега_озера пологие, заболоченные. Дно озера сложено гравием и крупными зернистыми песками, перекрытыми слоем ила мощностью до 1,5 м. На отдельных участках центральной части озерной котловины отмечаются выходы

Площадь зеркала,км^2	Средняя глубина, м	Максимальная глубина, м	Температура воды, ^{0}С		Общая минерализация, г/л	
8,92	3.07	5.30	пов.	дно	пов	дно
			17	37,8	100	125

кристаллических пород. Внутриводная растительность неразвита. Ихтиофауна отсутствует. Годовая амплитуда колебаний уровня воды не превышает 50 см. Химический состав вод, питающих озеро гидрокарбонатно-натриевый и кальциевый, а состав озерных вод в результате накопления солей и их метаморфизации хлоридно-натриевый и карбонатно-натриевый. Такой тип накопления вещества в озере характеризуется повышением общей минерализации вод и выпадением из раствора и отложением на дне кристаллических солей, таких как галит, тенардит, мирабилит, трона. В прибрежных участках озера в зоне разгрузки трещинно-жильных вод глубокой циркуляции отмечается выпадение в осадок железа и марганца, связанное с изменением карбонатного равновесия и окислительно-восстановительных условий в водной среде. Прозрачность озерных вод достигает 2 м. по диску Секки. Эффективность тепловых энергетических ресурсов соленого озера обусловливается разностью температур поверхностных и глубинных слоев, достигающей на оз.Сассыккуль 20^{0}С. Термосъемка в июле 1985г. выявила аномальное вертикальное распределение температуры и минерализации воды в период максимального прогрева водной массы в августе (Таблица 1).

Таблица 1. Основные физико-химические параметры оз.Сассыккуль

Температурное зондирование производилось по семи станциям, расположенным на линии соединяющей прибрежное мелководье и центральную, наиболее глубокую часть озера Измерения температуры воды показали, что до глубины 1,5 м. озеро стратифицировано обычным для этого времени года образом, когда температура поверхности воды несколько выше температуры воды у дна. Однако, при глубине 2 м. температурная стратификация становится "аномальной": при незначительном увеличении температуры поверхности воды к центру озера (до 1,5 ^{0}С на 500 м.) температура воды по вертикали резко возрастает с 17 ^{0}С на поверхности воды до 37^{0}С и более у дна. Ниже границы дна, в слое донных отложений температура столь же резко падает с глубиной Термальных источников на дне озера обнаружено не было. При этом, в результате интенсивной термокарстовой переработки и залегания вблизи уреза воды вечномерзлых пород вертикальное распределение температуры воды в прибрежной области озера совершенно иное: температура в полости грязевого окна в непосредственной близости от уреза воды понижалась с 14^{0}С на поверхности до 2,5 ^{0}С на глубине 1,8 м.

В заключении отметим, что если в изучении причинно-следственных связей между структурой пресноводного озера его бассейном и окружающей средой,

определяющих характер круговорота вещества и энергии в различных географических условиях к настоящему времени достигнут значительный прогресс, то изучение геоэкологии соленых озер позволяет говорить о новом, перспективном, интенсивно развивающимся направлении лимнологии, имеющим большой практический выход.

Литература:

[1]. Егоров А.Н., Космаков И.В. География и природопользование соленых озер. Новосибирск, “Наука”. 2010. 184 с.

[2]. Sonnenfeld P.and Hudec P.P. 1980. Heliothermal lakes//Hypersaline Brines and Evaporitic Environ,Amsterdam:93-100.

[3]. Henderdorf C.E. Large lakes of the world // IAGLR Central Office . The University of Michigan, 1982.V.8(3). P.379-412.

[4]. Дзенс-Литовский А.И. Методы комплексного исследования и разведки озерных соляных месторождений//Тр.ВНИИГ, Госхимиздат,1957, вып.XXXIV.212 с.

[5]. Wetzel R.G.1975. Limnology, Saunders,Philadelphia,Pa.:743.

[6]. Williams W.D.1998. Guidelines of Lake Management//Management of inland saline waters,v.6:108.

[7]. Александр **Егоров.** Соленые озера-структурообразующий фактор реального сектора экономики. Монография в виде сборника статей. LAPLambert Acadecmic Publishing GmbH & CO.CG, 17 Meidrum Street, Beau Bassin 71504, Mauratius,Germany, 2019-52 p. (in Russian)

[8]. Егоров А.Н., Зилинтикевич С.С. Термодинамическая структура соленого озера с парниковым эффектом//Метеорология и гидрология,М.,1999,N4. С.98-105.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОАВТОСТИ И РЕЛЬЕФА ДНЯ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

LABORATORY STUDY OF THE INFLUENCE OF ROUGHNESS AND RELIEF ON THE COASTAL DOWNWELLING CURRENT AND THE BOTTOM EKMAN LAYER TO IT

Elkin D.N., Zatsein A.G.
P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

Одним из малоизученных механизмов вентиляции глубинных вод океана, является опускание кислородосодержащих вод по склону дна в экмановском слое при наличии даунвеллингового вдольберегового течения. В океане в зоне шельфа и континентального склона дно не редко бывает шероховатым и неровным. Проведены лабораторные опыты по изучению этого процесса при наличии шероховатости и рельефа дна.

One of the poorly studied mechanisms of deep water ventilation is the lowering of oxygen-containing water along the bottom slope in the Ekman layer in the presence of a downwelling alongshore current. The bottom is not rarely rough and uneven in the ocean, in the shelf and continental slope. We conducted a laboratory experiment to study the impact of the bottom roughness and relief on the downwelling alongshore current and the bottom Ekman layer associated with it.

Вдольбереговое прибрежное течение, достигающее дна моря, формирует придонный экмановский слой (ПЭС), в котором перенос воды происходит перпендикулярно направлению течения и влево от него (в северном полушарии). В случае - даунвеллингового вдольберегового течения, в ПЭС происходит перенос воды от берега и ее опускание по склону дна [1]. При наличии устойчивой стратификации, достигая определенной глубины, менее плотная вода в ПЭС останавливается и конвективным образом перемешивается с вышележащими водами. Ранее процесс опускания вод в ПЭС исследовался на гладком дне [2]. Морское дно нередко имеет сложный рельеф, с наличием хребтов и каньонов, гор и впадин, и часто бывает шероховатым [3].

Цель работы – лабораторное исследование динамики даунвеллингового прибрежного течения и связанного с ним ПЭС на наклонном дне при наличии и в отсутствии плотностной стратификации, а также при наличии особенностей рельефа или шероховатости дна.

Эксперименты проводились в цилиндрическом бассейне, заполненном пресной или соленой водой, и расположенном на вращающейся против часовой стрелки платформе. В центре бассейна установлен усеченный конус с нижнем основанием, закрепленном на дне бассейна. Поверхность конуса играет роль наклонного дна. В опытах с хребтом на дне, на поверхность конуса вдоль образующей прикрепляется тонкая вертикальная пластинка треугольной формы, острый угол которой расположен у верхнего основания конуса. Для исследования влияния шероховатости: боковая поверхность конуса покрывается ковриком, вышитым бисером - мелкими шариками. В центре верхнего основания усеченного конуса сделано отверстие, соединенное шлангом с сосудом Мариотта. Над верхним основанием расположен пустотелый цилиндр с щелью - кольцевой источник, через который из сосуда Мариотта подается подкрашенная красителем вода в бассейн. Поступающая в бассейн вода образует вокруг источника вдольбереговое антициклоническое течение. Из-за трения о дно возникает ПЭС, в котором происходит опускание воды. Вид прибрежного течения и ПЭС снимался сверху и сбоку видеокамерами. В некоторых опытах производились зондирования водной среды микродатчиком электропроводности для определения вертикального

распределения солености. Для определения скорости течения на поверхность воды помещались бумажные пелетки. Опыты проводились при различных значениях скорости вращения платформы, расхода источника, размера шероховатости дна, солености воды в бассейне (при этом из щелевого источника поступает пресная вода). Опыты проводились с хребтом на дне и без хребта (Рис.1).

Рис. 1. а) Схема лабораторной установки: вращающаяся платформа (1), цилиндрический бассейн, (2), усеченный конус внутри бассейна (3), сосуд Мариотта (4), щелевой источник пресной воды (5), видеокамера сверху (6), боковая видеокамера (7), датчик, измеряющий электропроводность воды (8); б) фото лабораторной установки для случая с хребтом на дне; в) фото лабораторной установки для случая с шероховатым дном

В баротропном случае в бассейн залита прозрачная пресная вода ($\rho_1 \approx \rho_0$), а подкрашенная пресная вода, поступающая с постоянным расходом из источника на поверхность конуса, первоначально образует антициклоническое осесимметричное баротропное прибрежное течение, расширявшееся радиально. Однако в определенный момент времени ширина слоя подкрашенной воды и связанного с ним прибрежного течения перестает расти. Стабилизация положения фронта подкрашенной воды обусловлена формированием в ПЭС потока с расходом $Q_e \approx Q$, где Q – расход щелевого источника. Подкрашенная вода в ПЭС распространяющегося вниз по склону и выходит со временем далеко за пределы фронтальной зоны баротропного слоя подкрашенной воды. При этом прибрежное течение также достигает стационарного состояния и его стрежень (максимум азимутальной скорости) находится на внешней границе баротропного слоя подкрашенной воды. При наличии хребта, подкрашенная вода фронтального течения натекает на хребет. При этом она замедляется, и перед хребтом уровень воды повышается по сравнению с удаленными от хребта районами. Поэтому поле давления перед хребтом создает опускание воды прибрежного течения и связанного с ним ПЭС вниз по склону дна, а за хребтом - поднимает ее вверх по склону. Вода в зоне хребта опускается значительно глубже, чем вне зоны хребта (Рис. 2а). При наличии хребта: вне зоны хребта: скорость опускания воды в ПЭС меньше, скорость течения на поверхности меньше, ширина течения больше, а толщина ПЭС – больше, чем в отсутствии хребта. В случае шероховатого дна, с ростом размера зерен (шариков бисера) шероховатости скорость опускания воды в ПЭС убывает, скорость течения на поверхности убывает, ширина баротропного течения убывает, а толщина ПЭС – возрастает.

В бароклинном случае при небольших значениях солености воды в бассейне ($\rho_1 < \rho_0$), наклонный фронт течения достигает поверхности конуса и происходит формирование ПЭС с опусканием менее плотной воды и подкрашенной воды вниз по склону. Со временем, ПЭС испытывает конвективную неустойчивость. В нем формируются валиковые структуры, вытянутые в азимутальном направлении. Затем они распадаются на трехмерные вихревые структуры, в которых подкрашенная вода ПЭС медленно поднимается вверх, перемешиваясь с окружающими водами, вплоть до свободной поверхности воды.

На Рис. 2б показана структура течения при небольшом отличии плотности воды в источнике от воды в бассейне в случае с хребтом. Видно невязкое ядро прибрежного течения

как темное кольцо подкрашенной пресной воды вокруг источника, а на периферии видны вихревые элементы конвекции, порожденной конвективной неустойчивостью ПЭС. Возле хребта видно опускание подкрашенной воды вниз по склону, а также вихревые элементы конвекции представляющие собой вытянутые по вертикали «пальцы» подкрашенной воды.

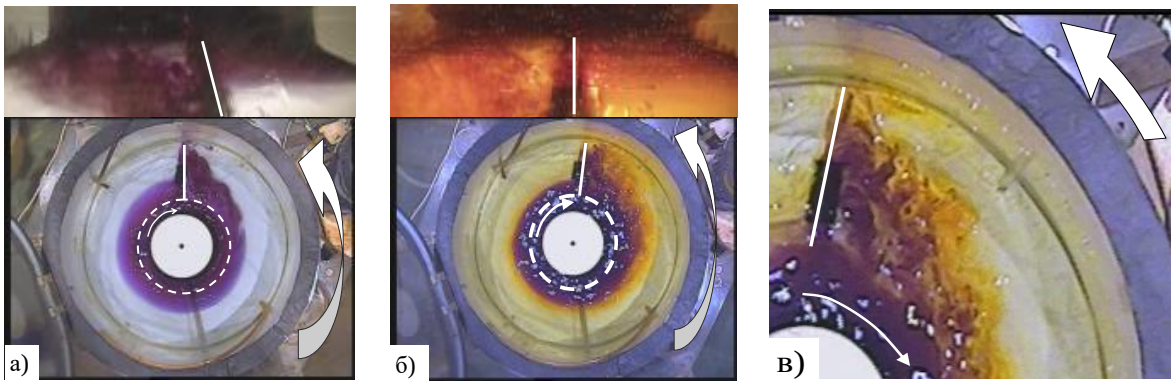


Рис. 2. Вид фронтального течения над поверхностью конуса, образованного постоянно действующим источником (Q = 8 см^3/с, f = 1,25 с$^{-1}$) в случае с хребтом: а) в баротропном случае ($\rho_1 \approx \rho_0$): вид сбоку вверху; вид сверху внизу. б) в бароклинном случае ($\rho_1 < \rho_0$): вид сбоку вверху; вид сверху внизу. в) трехмерные конвективные структуры в бароклинном случае ($\rho_1 < \rho_0$). Пунктир – внешняя фронтальная граница прибрежного течения вне области хребта. Толстая стрелка – направление вращения платформы. Тонкая стрелка – направление прибрежного течения.

На Рис. 2в показан сегмент бассейна с фронтальным течением и вихревыми элементами конвекции возле хребта. При наличии хребта в окрестности хребта наблюдалось утолщение ПЭС, это приводило к более раннему развитию конвекции. Шероховатость дна значительно интенсифицировала процесс конвекции по сравнению с гладким дном. Интенсификация конвекции происходила, главным образом, за счет увеличения толщины ПЭС, которое, в свою очередь приводило к росту числа Релея - критерия развития конвекции. Поскольку толщина слоя входит в число Релея в кубической степени, ее увеличение на 25 процентов вызывает почти двукратное увеличение значения этого числа.

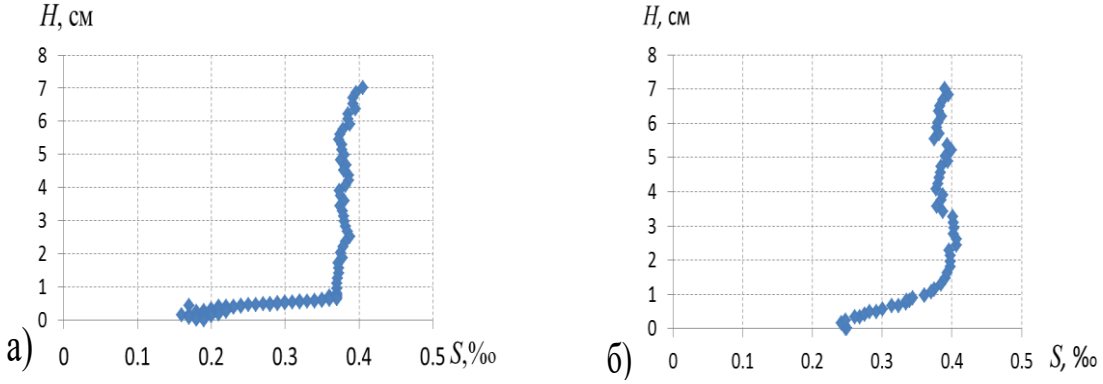


Рис. 3. Профиль солености, измеренной датчиком электропроводности от поверхности дна до высоты H водного слоя (Q = 8 см^3/с, f = 1,25 с$^{-1}$, S=0.4 ‰), а) гладкое дно; б) шероховатое дно, где размер шероховатости: d=1.9 мм.

Эффект увеличения толщины ПЭС над шероховатым дном был количественно оценен благодаря тому, что в некоторых опытах производились зондирования водной среды микродатчиком электропроводности. Датчик равномерно опускался вниз вплоть до касания дна, а затем поднимался вверх и регистрировал вертикальное распределение солености. Было установлено, что в придонном слое, толщиной порядка 1 см, соленость уменьшается квазилинейно по направлению ко дну (Рис. 3). Измеренные значения толщины ПЭС хорошо

согласуются с ранее выполненными расчетами его толщины [2]. Шероховатость дна немного (в пределах 20 - 30%) уменьшает вдольбереговую скорость фронтального течения и в тех же пределах увеличивает толщину ПЭС. При этом размер зерен шероховатости в исследованных пределах весьма слабо влияет на характеристики как фронтального течения, так и течения в ПЭС

При большом различии плотности воды в бассейне и источнике (при большой солености воды в бассейне), наклонный фронт течения не достигает поверхности конуса, и опускание более легкой жидкости в ПЭС, как на гладком, так и на шероховатом дне не происходит. Из-за этого при работающем источнике масса жидкости, заключенная внутри области прибрежного течения, растет непрерывно, и положение его фронта не стабилизируется, а происходит его радиальное распространение вплоть до боковой стены бассейна.

Описанные результаты лабораторных опытов качественным образом согласуются с некоторыми результатами натурных наблюдений..

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2020-0004 и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00496.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Журбас В.М., Ох И.С., Парк Т.* Роль бета-эффекта в угасании вдольбереговой бароклинной струи, связанной с преходящим прибрежным ап- и даунвеллингом: численные эксперименты // Океанология. 2006. Т. 46. № 2. С. 189-196.

2. *Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Подымов, О.И., Островский А.Г.* Опускание вод в экмановском слое, образованном прибрежным даунвеллинговым течением над наклонным дном // Океанология. 2017. Т. 57. № 4. с. 531-537.

3. *Елкин Д.Н., Зацепин А.Г., Салаватова Л.И.* Лабораторное исследование влияния шероховатости и рельефа дна на вдольбереговое даунвеллинговое течение и связанный с ним придонный экмановский слой // Процессы в геосредах 2019. № 4 (22). с. 471-479

БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ТРУДНОДОСТУПНОЙ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ «ЛАШТРАКСКИЕ ИСТОЧНИКИ» КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ

[1] Ефименко Н.В., [1]Поволоцкая Н.П.,[1]Трубина М.А.,[1]Кортунова З.В.,[1]Кириленко А.А.,[1]Слепых В.В., [2]Сеник И.А.
1 Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии, филиал Северо-Кавказского федерального научно-клинического центра ФМБА Россия, г. Пятигорск
2 Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова Российской академии наук, Лаборатория моделирования атмосферного переноса,
Москва, Россия

BIOCLIMATIC ASSESSMENT OF WELLNESS HARD MOUNTAINS LOCATIONS «LASHTRAKSKIE SOURCES» KARACHAEVO-CHERKESS REPUBLIC

[1] Efimenko N.V., 1 Povolotskaya N.P., 1 Trubina M.A., 1 Kortunova Z.V., 1 Kirilenko A.A., [1]Slepykh V.V., 2 Senik I.A.
1 Pyatigorsk scientific research institute of health resort study - a branch of federal state budgetary institution of the North Caucasian federal scientific clinical centre FMBA of Russia, Pyatigorsk
2 A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS, Kislovodsk High Mountain Station and Laboratory of Atmospheric Transfer Modeling, Moscow, Russia

Рассматриваются результаты биоклиматической оценки состояния природных лечебных ресурсов уникальной горной местности «Лаштракские источники» Карачаево-Черкесской Республики, которая относится к республиканской особо охраняемой природной территории, для целей их рационального использования в лечебно-оздоровительном туризме. Методологическая основа работы включает мониторинг, лабораторные и аналитические камеральные исследования состояния природных лечебных ресурсов и системный анализ, позволяющий использовать полученные результаты в курортологии, рекреационной деятельности, туризме и других смежных областях.

The article considers the results of bioclimatic assessment of the state of natural medicinal resources in the unique mountainous area «Lashtrak Sources», which belongs to a specially protected natural territory of Russia, for their rational use in resort and recreational practice. The methodological basis of the work includes monitoring, laboratory and analytical office research of the state of the natural medicinal resources and system analysis, allowing the use of the results obtained in balneology, recreational activities, tourism and other related areas.

Актуальность

Всемирный фонд дикой природы (WWF) на основе всестороннего анализа географических и биологических параметров определил наиболее выдающиеся регионы и центры мирового биоразнообразия, в границах которых представлены все основные виды, популяции, сообщества, системы и комплексы взаимосвязей между различными организмами и природными условиями (программа «The Global 200»). Кавказ входит в число этих регионов, т.к. характеризуется одним из наиболее высоких уровней биологического разнообразия на Земле, чье биологическое и ландшафтное разнообразие имеет глобальное значение. Наряду с этим, здесь наиболее высоки угрозы

уничтожения природных экосистем, поэтому Кавказ, по терминологии WWF, относится к числу т. н. «горячих точек» (Атаев З.В., Братков В.В., 2011 г.).

Природные лечебные ресурсы (ПЛР) и курортные богатства нашей страны велики и многообразны и создание особо охраняемых природных территорий (ООПТ) является эффективной формой природоохранной деятельности, в том числе в сфере охраны ПЛР, курортов и лечебно-оздоровительных местностей (ЛОМ). В 2002 г. была принята Экологическая доктрина Российской Федерации (Распоряжение Правительства РФ от 31 августа 2002 г. N 1225-р.) и определены основные направления государственной политики в области экологии. Большое значение имело создание и развитие ООПТ, предназначенных для сохранения типичных и уникальных природных ландшафтов, разнообразия животного и растительного мира, охраны объектов природного и культурного наследия. К числу ООПТ относятся: заповедники, национальные парки, заказники, объекты природного и культурного наследия, памятники природы, а также некоторые особо ценные зеленые зоны городов.

В современном обществе наблюдается рост интереса к вопросам лечебно-оздоровительного отдыха, санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации на основе использования ПЛР, а также, экологического и других видов туризма в горных местностях Северного Кавказа. Следует отметить, что именно здесь находится единственный в России особо охраняемый эколого-курортный регион – Кавказские Минеральные Воды, на территории которого расположен Национальный парк «Кисловодский», имеющий статус *«лечебного парка».*

Старейшее научно-клиническое учреждение России, занимающееся научными исследованиями в области теоретической и практической курортологии, это Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии (ПНИИК) – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства». Институт на протяжении ***века (1920-2020 гг.)*** *традиционно занимается организацией курортной науки и повышением качества оказания медицинской помощи в области санаторно-курортного лечения, медицинской реабилитации и профилактики различных социально значимых заболеваний и внес колоссальный вклад в развитие курортологии и курортного дела. Научная деятельность ПНИИК включает экспериментальные исследования механизма действия природных лечебных факторов, разработку теоретических основ, методического базиса и инновационных технологий в курортологии, физиотерапии, восстановительном лечении и реабилитации на основе оптимального использования природных лечебных ресурсов (минеральные воды, природные пелоиды, лечебный климат, рекреационный ландшафт) в санаторно-курортном лечении и оздоровительном туризме. Многолетняя эффективная научная работа ПНИИК по изучению лечебно-оздоровительного действия природной среды позволила создать гидроминеральную, биоклиматическую и бальнеотехническую базу для развития курортов Северного Кавказа. Были разработаны многие теоретические вопросы генезиса минеральных вод и лечебных грязей, обогатившие современную отечественную и мировую курортологию и курортную медицину новыми знаниями, научно-методической базой и технологиями, необходимыми для укрепления здоровья россиян и эффективного функционирования курортов (https://skfmba.ru/pniik).*

В 21-м веке география ландшафтно-климатических исследований ПНИИК охватывает весь регион Северного Кавказа с целью дополнения и уточнения Реестра природных лечебных ресурсов России. В 2020 году сотрудниками ПНИИК

завершились комплексные исследования на территории месторождения Лаштракских источников Карачаево-Черкесской Республики и курортов Кавказских Минеральных Вод.

Цели и задачи исследования

Значимость курорта и его привлекательность определяется состоянием и эффективностью использования в курортной практике природных лечебных ресурсов, к числу которых отнесены – «минеральные воды, лечебные грязи, рапа лиманов и озер, лечебный климат, другие природные объекты и условия, используемые для лечения и профилактики заболеваний и организации отдыха» [1]. Для современной организации санаторно-курортного лечения и оздоровительного отдыха необходимо оценить ландшафтно-климатический потенциал курорта (ЛПК), который является особым природным лечебным ресурсом и базируется на многообразии признаков (критериев) лечебно-оздоровительных и патогенных свойств элементов биоклимата, рекреационного ландшафта и экологической обстановки [2].

Объектом данного исследования являются биоклимат, рекреационный ландшафт Лаштракских источников Карачаево-Черкесской Республики (КЧР).

Целью исследования является современная оценка состояния природных лечебных ресурсов и ландшафтно-климатического потенциала курорта района Лаштракских источников КЧР для целей оздоровительного туризма и выработки рекомендаций по их рациональному использованию и охране.

Методы исследования. В основе методики исследования – интегральный модульный подход с использованием многофакторной информации о природной среде района Лаштракских источников КЧР.

Материалы исследования. Использованы результаты *маршрутного ландшафтно-климатического мониторин*га множества биоклиматических параметров, условий горной гипоксии, оценки фиторесурсов древесно-кустарниковой и травянистой растительности, особенностей орографии и природных видовых панорам и перспектив природной климатоландшафтотерапии в районе Лаштракских источников. Проведен *камеральный* сбор специализированной информации (климатической, биологической, геогелиофизической, экологической и др.) из фонда отдела курортной биоклиматологии ПНИИК ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА, г. Пятигорск и открытых источников.

Новизна. Авторами предложена новая стилизованная шкала качественной интегральной оценки различных индикаторов биоклимата и рекреационного ландшафта для целей организации эффективного курортного лечения и оздоровительного отдыха. Для сравнения разнородных показателей природной среды использована методика балльных оценок уровня курортологической значимости (в баллах) множества модулей биоклимата и ландшафта для целей климатолечения и ландшафтотерапии, применяемых при курортном лечении и оздоровительном туризме. С позиций курортологии использовались следующие категории качества ландшафтно-климатического потенциала местности: 0 баллов – неблагоприятно, 1 балл – относительно благоприятно, 2 балла – благоприятно, 3 балла – особо благоприятно. Рассматриваются следующие группы индикаторов ландшафтно-климатического потенциала местности:

- ландшафтный потенциал местности;
- биоклиматический потенциал местности;
- экологический потенциал растительности.

Индикаторы биоклимата позволяют провести детальный анализ курортно-рекреационных возможностей и перспектив развития местности, а также выявить факторы риска для отдыха и курортного лечения. Учет уровня ландшафтного потенциала местности позволяет обосновать естественнонаучную основу для целей

климатического и ландшафтного лечения и оздоровления, выявить местности, обладающие высококачественными ландшафтно-климатическими лечебными ресурсами и оценить риски факторов внешней среды, допустимые рекреационные нагрузки и уровень загрязнения природного комплекса [2, 3, 4].

Результаты и обсуждение

Территория КЧР имеет ландшафтное разнообразие и обладает уникальными природными лечебными ресурсами, многие из которых пока мало исследованы. В силу труднодоступности и удаленности горная местность «Лаштракские источники» или т.н. «Кислые источники» относится к их числу. Являясь гидрологическим памятником природы регионального значения ООПТ, они называются «Лаштрак (кисло-минеральные источники)» и находятся под особым государственным контролем. В настоящее время добраться до этой территории возможно с июня по сентябрь. Ежегодно приезжают около 15000 человек в основном для оздоровительного, познавательного и экологического туризма.

В 2020 году сотрудниками ПНИИК ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА (г. Пятигорск) было проведено маршрутное исследование современного состояния ландшафтно-климатического потенциала особо охраняемой природной территории Лаштракских источников на высоте 1850 м. над ур. м. Лаштракские источники (29 источников разной минерализации) располагаются на площади 20 м^2 на левом берегу р. Адзапш (Лаштрак) притока реки Большая Лаба в 3,5 км от места впадения Адзапша в Санчаро в Урупском районе. Координаты местности: 43°28'44" с.ш., 40°54'53"в.д.

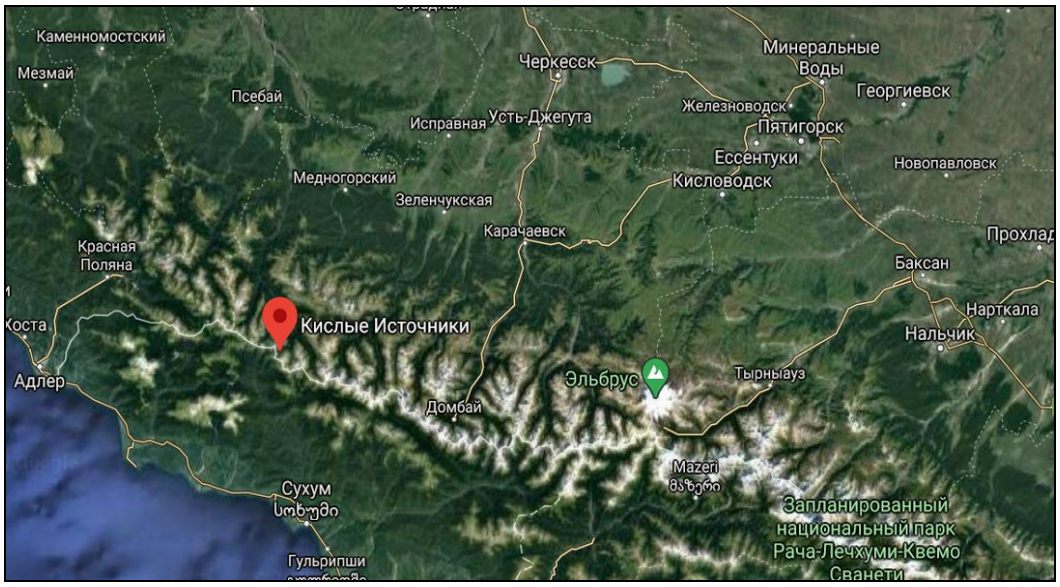


Рисунок – Карта-схема расположения Лаштракских источников (данные сервиса Google)

Лаштракские источники находятся на границе главного Кавказского хребта и Абхазии в окружении гор, водопадов, рек Лаштрак и Санчаро и хвойных лесов. На субальпийских лугах растут многочисленные лечебные травы: зверобой, чабрец, дудник, горец змеиный, окопник, примула, золотая розга, мать-и-мачеха и др. Встречаются узкоиндемичные виды: бурачок туполистный, ясменники, борщевик Стевина, манжетка, морозник кавказский, ятрышник (салеп), любка двулистая, безвременник великолепный и др.

Доминирующим фактором, определяющим биоклиматические особенности территории, является рельеф, характеризующийся сложной системой разновысотных хребтов и котловин, широким диапазоном абсолютных и относительных высот,

которые в совокупности создают на данной территории мезо- и микроклиматические различия. Видовые панорамы удаленного горного ландшафта в районе выхода Лаштракских источников весьма привлекательны с высокой сменяемостью уникальных орографических картин, лесной и луговой растительности, живописностью природных видовых панорам горного леса, горной орографии. Они встречаются практически на всех участках горной долины реки Адзапш (Лаштрак) и на территории Поляны, расположенных ниже над уровнем моря, где на склонах гор широко распространены пихтово-еловые леса.

В период маршрутных исследований в июле 2019 г. было сделано фитоценотическое описание растительности в двух репрезентативных пунктах: луг и лесная экосистема, прилегающих к территории выхода Лаштракских источников. Заросли кустарников распространены на юго-восточных склонах выше минеральных источников, а на самих минеральных источниках по сырым местам и вдоль стоков минеральной воды преобладают манжетники и ситниковые монодоминантные сообщества.

В результате проведенного мониторинга по группе индикаторов можно сделать выводы, что лечебно-оздоровительная местность района Лаштракских источников характеризуется высоким климато-курортологическим потенциалом – 2,51 балла (из 3-х возможных) и повышенным ландшафтно-климатическим потенциалом – 2,61 баллов. Особо благоприятным фактором (3 балла) является высокая чистота и оздоровительные свойства режима циркуляции приземной атмосферы, очень высокий уровень природной аэроионизации, режим солнечной радиации для гелиотерапии, режим влажности воздуха. Эти результаты являются очень значимыми для перспектив организации климатоландшафтотерапии, климатолечения, аэротерапии, гелиотерапии, терренкура. Особенно благоприятна ЛОМ района Лаштракских источников для рекреационной деятельности, оздоровительного отдыха, ЛФК, экологического и медицинского туризма. Полученные результаты исследования будут использованы для уточнения информационных карт к Реестру природных лечебных ресурсов Северного Кавказа по району Лаштракских источников.

Заключение.

1. Применение авторской методики позволило провести научное исследование состояния природных лечебных ресурсов района Лаштракские источники Карачаево-Черкесской Республики для целей курортно-рекреационных целей. Полученные материалы свидетельствуют о высоких перспективах горного лечебно-оздоровительного туризма.
2. Исследуемый район находится в зоне риска природных явлений: отдельные следы недавних селей и схода лавин были обнаружены авторами во время исследований в долине р. Адзапш (Лаштрак). Труднодоступность района, отсутствие транспортной инфраструктуры, сложная орография и уязвимость склонов, ежегодные паводки на р. Лаштрак, а также высокая лавиноопасность делает эту местность неперспективной для большого градостроительного освоения.
3. Учитывая необходимость расширения курортно-рекреационных зон в Карачаево-Черкессии, в перспективе в районе Лаштракских источников возможна разработка программ и мероприятий оздоровления и медицинской реабилитации населения с использованием выявленных лечебно-оздоровительных функций природных лечебных ресурсов и интеграции в российскую рекреационную отрасль с обязательной оценкой оптимального уровня антропогенных нагрузок на природные комплексы.

Литература

1. Федеральный закон «О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах» от 23.02.95 г. № 26-фз //СЗРФ, от 27.02.1995 г., № 9, ст.713 (в современной редакции).
2. Методика курортологической оценки лесопарковых ландшафтов горных территорий для целей климатоландшафтотерапии при курортном лечении контингента, подлежащего обслуживанию ФМБА России: Пособие для врачей /Авторы: Ефименко Н.В., Поволоцкая Н.П., Кайсинова А.С., Жерлицина Л.И., Голицын Г.С., Кириленко А.А., Кортунова З.В., Сеник И.А., Слепых В.В.) //Утв. зам. руководителя Федерального медико-биологического агентства В.Б.Хавкиной 17.12.2015 г. Регистрационный номер 82-15. – Пятигорск: МЗРФ: ФМБА России: ФГБУ ПГНИИК ФМБА России, 2015. – 26 с.
3. Поволоцкая Н.П., Слепых В.В., Кортунова З.В., Кириленко А.А, Просольченко А.В., Трубина М.А. Ландшафтно-климатический потенциал района Лаштракских источников Карачаево-Черкесской республики // Курортная медицина. -№ 1. -2020. - С. 27-39.
4. N.P. Povolotskaya, M. A Trubina, Z.V. Kortunova, A.A. Kirilenko, I.A. Senik Modern methodological approaches to assessing the landscape and climatic potential of resorts // Landscape Science and Landscape Ecology: Considering Responses to Global Challenges [Electronic resource]: Book of Abstracts of the 1st International IALE-Russia online conference, Moscow, 14-18 September 2020 / Ed. A.V. Khoroshev, T.I. Kharitonova — Moscow : Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 2020. - 95 p.

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ СТОКА С ВЕРХОВЫХ БОЛОТ

Журавлева А.Д.
ФГБУ «ГГИ», Санкт-Петербург, Россия

PARAMETERIZATION OF HYDROLOGICAL MODELS FOR CALCULATING RUNOFF FROM UPPER PEATLANDS

Zhuravleva A.D.
Hydrological Institute, Saint-Petersburg, Russia

В работе представлены особенности параметризации бассейна при моделировании формирования стока с верховых болот на примере болотного массива Ламмин-Суо с 1978 г. по 2018 г. Проведен анализ значений параметров для различных болотных микроландшафтов, оценены параметры модели в условиях изменяющегося гидрометеорологического режима.

This paper presents the features of basin parameterization in modeling the runoff formation from upper peatlands on the example of the Lammin-Suo peatland from 1978 To 2018. The analysis of parameter values for various swamp microlandscapes is carried out, and the model parameters are estimated under changing hydrometeorological conditions.

Введение. Верховые болота являются специфическим ландшафтом, обладающим существенными отличиями в стокоформировании от других типов поверхностей речных водосборов. Особенности формирования стока с болотных массивов обусловливается различием в водопропускной способности деятельного и инертного горизонтов [1]. Верховые болота широко распространены на территории Российской Федерации, поэтому расчет стока с данного типа болот представляется важной задачей. Так при общей заболоченности Северо-Запада Росссии в 23%, более 75% составляют верховые болота [2, 3]. Репрезентативным по составу болотных микроландшафтов для болот лесной зоны Северо-Запада России является болотный массив Ламмин-Суо, на котором с 1950 года расположена Зеленогорская болотная станция, осуществляющая наблюдения за гидрометеорологическим режимом и составляющими водного баланса данного массива. В работе были использованы многолетние данные болотной станции, которые позволяют оценить особенности стокоформирования на верховых болотах.

Применение математических моделей позволяет воспроизвести основные особенности процессов формирования стока с болот и получить более надежную оценку степени влияния болот на речной сток. Параметризация моделей для расчета стока с водосборов является важной и ответственной задачей, которая оказывает решающее значение при получении достоверных результатов, т.к. значения параметров модели отражают особенности стокоформирования на различных типах ландшафта. В данной работе представлены особенности параметризации бассейна при моделировании формирования стока с верховых болот на основе данных Зеленогорской болотной станции с 1978 г. по 2018 г.

Материалы и методы. Для выявления особенностей параметризации бассейна при моделировании формирования стока с верховых болот была использована модель HBV. Модель HBV была разработана 1972 году в Шведском Метеорологическом и Гидрологическом Институте (SMHI), в течение последних десятилетий модель получила дальнейшее развитие и широко использовалась для моделирования стока воды в Швеции и других странах [4, 5, 6]. В настоящей работе использовалась версия

программы HBV-ligh 4.0.0.16. Модель HBV включена в Гидрологическую оперативную многоцелевую система Всемирной Метеорологической Организации (ГОМС ВМО J04.2.02) (Seibert, 1997, 2005).

В работе использованы данные наблюдений за гидрометеорологическим режимом на болотном массиве Ламмин-Суо за период наблюдений с 1978 г. по 2018 г.. Болотный массив Ламмин-Суо расположен на водоразделе бассейнов рек Черная и Сестра на Карельском перешейке в северо-западной части Русской равнины. Болотный массив состоит из водосборов пяти ручьев и одного временного водотока. Основные характеристики водотоков представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Гидрографические характеристики ручьев болотного массива Ламмин-Суо

Ручей	Площадь водосбора, км^2	Лесистость (суходол+болото), %	Заболоченность, %	Озерность, %
Южный	1,18	31,4 (8,5+22,9)	91,5	0,0
Западный-1,2	0,32	78,4 (28,1+50,3)	66,3	5,6
Северный	0,37	93,5 (17,3+76,2)	78,6	4,1
Восточный	0,10	36,0 (18,0+18,0)	82,0	0,0

Таблица 2. Болотные микроландшафты на водосборах ручье массива Ламмин-Суо

Ручей	Группа болотных микроландшафтов, %				
	Лесные	Мохово-лесные	Моховые	Мохово-травяные	Комплексные
Южный	17	9	>1	52	12
Западный-1,2	19	16	15	16	<1
Северный	11	24	22	8	14
Восточный	9	45	-	16	12

Результаты и обсуждение. В ходе работы был произведен расчет стока по модели HBV по трем ручьям болотного массива Ламмин-Суо (ручьи Южный, Северный и Западный) с 1978 по 2018 г. Калибровка параметров модели была произведена за 1978-1988 гг. по всем трем ручьям болотного массива Ламмин-Суо. Далее полученные значения параметров были использованы для расчета стока по ручьям за 1989-2018 гг. Значения параметров модели, рассчитанные в результате калибровки модели, позволили получить удовлетворительные результаты при расчетах стока с болотных ручьев. Значения коэффициентов эффективности расчета Нэша-Сатклиффа за период калибровки и валидации приведены в таблице 3, на рисунке 1 приведен гидрограф стока по болотным ручьям за период валидации. Значения коэффициента эффективности расчета являются удовлетворительными и позволяют использовать полученные значения параметров модели, для оценки особенностей стокоформирования на верховом болотном массиве.

Таблица 3. Коэффициенты эффективности для периода калибровки и валидации по водосборам ручьев болотного массива Ламмин-Суо за период с 1978 по 2018 гг.

Водосбор	R_{eff} для периода калибровки (1978-1988гг.)	R_{eff} для периода валидации (1989-2018гг.)
Ручей Южный	0,72	0,69
Ручей Северный	0,76	0,68
Ручей Западный	0,72	0,7

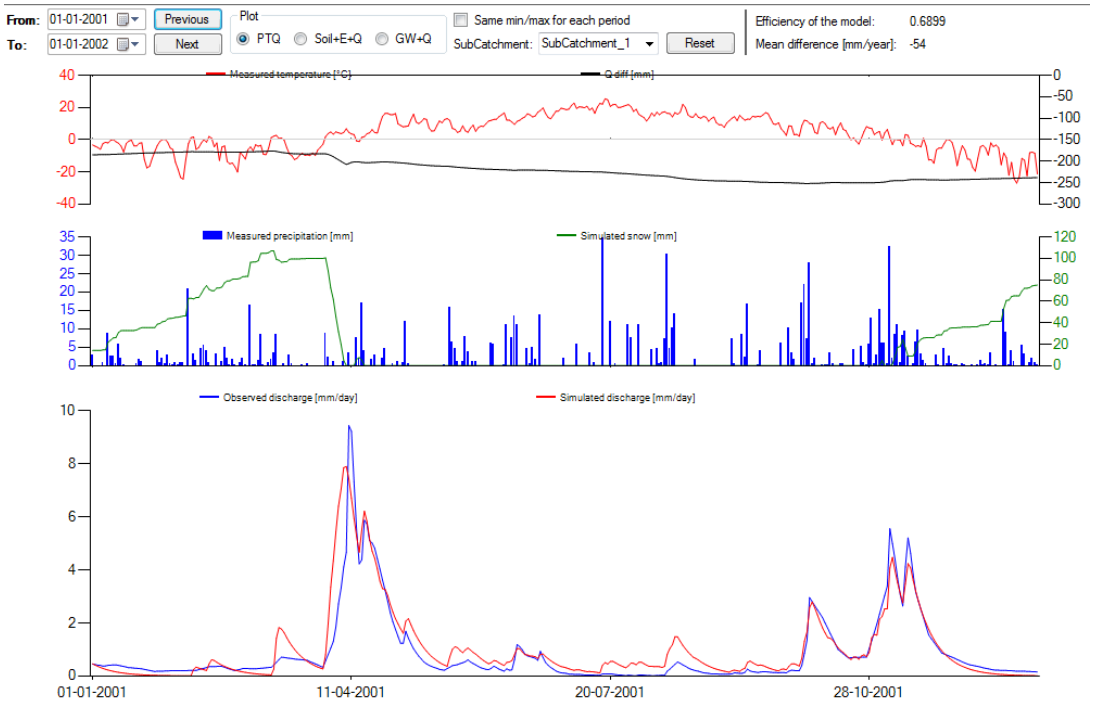


Рисунок 1. Рассчитанный (красный) и наблюденный (синий) гидрографы стока руч. Южный за период валидации с 1989 по 2018г. (на примере 2001 года)

В таблице 4 представлены некоторые из значений параметров модели HBV, использованных при моделировании стока ручьев болотного массива Ламмин-Суо. Основная особенность параметризации бассейна для расчетов стока с верховых болот, заключалась в задании нулевых коэффициентов фильтрации на границе деятельного и инертных горизонтов, что отражает процесс формирования стока на заболоченных территориях (параметр PERC). Вследствие малости значений коэффициентов фильтрации инертного горизонта, последний в условиях естественных болотных массивов играет роль относительного водоупора. Стекание воды с болотного массива может продолжаться лишь до тех пор, пока не истощится запас свободной воды в деятельном горизонте болота, т.е. пока уровни грунтовых вод находятся в пределах этого горизонта. Снижение уровня грунтовых вод до нижней границы деятельного горизонта либо ниже ее сопровождается или полным прекращением стока с болота, или уменьшением его до весьма малых значений. Малое количество воды, которое может фильтроваться через инертный горизонт, обычно не компенсирует даже того количества влаги, которое непосредственно испаряется с поверхности воды на болотах. В результате водоотдача болотного массива в периоды низкого стояния уровней грунтовых вод прекращается [1].

Так же при параметризации моделей для расчета стока с верховых болот необходимо учитывать условия снеготаяния, которые отличаются для разных микроландшафтов. На водосборе ручья Южный преобладают микроландшафты мохово-травяной группы, поэтому значение коэффициента стаивания (CFMAX) для этого ручья оказалось выше, чем для ручьев Северный и Западный, где более широкое распространение получили микроландшафты лесной группы.

Естественные торфяные залежи обладают высоким влагосодержанием (параметр FC), но водоотдача из торфа (параметр K_0) не является постоянной его характеристикой, и в большой степени зависит от условий предварительного насыщения водой торфяной массы. При одном и том же количестве воды, заключенной в торфяной массе, ее водоотдача может быть разной. В том случае, когда торфяная

масса долгое время находится в насыщенном водой состоянии, большая часть влаги будет заключена в коллоидных частицах. Если торфяная масса находилась короткое время в состоянии насыщения, то часть влаги, которая в первом случае пошла на набухание коллоидов и клеток неразложившихся растений, будет находиться в пространстве между частицами, составляющими твердый скелет, и водоотдача будет больше, чем в первом случае [1].

Таблица 4. Значения параметров модели HBV для водосборов ручьев болотного массива Ламмин-Суо (с 1989 по 2018 г.)

Параметр/ручей	Ручей Южный	Ручей Северный	Ручей Западный
PERC (Максимальный коэффициент фильтрации из верхнего яруса подземных вод в нижний) б/р	0	0	0
CFMAX (коэффициент стаивания) mm/Δt °C	3,21	2,5	2,2
FC (Максимальная водоудерживающая способность) mm	250	270	235
K_0 (Коэффициент истечения из стоковой емкости для периода максимального стока) 1/Δt	0.36	0.5	0.5

Анализ результатов моделирования и значений параметров модели показывает наличие отличительных особенностей стокоформирования с верховых болот, связанных с различием в водопропускной способности деятельного и инертного горизонтов, а также с составом микроландшафтов болотного массива и влагосодержанием торфяной массы.

Литература:

1. Иванов К.Е. Основы гидрологии болот лесной зоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1957. 500с.
2. Боч М.С., Смагин В.А. Флора и растительность болот Северо-Запада России и принципы их охраны. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 223 с.
3. Романова Е.А. О связи между растительностью, верхними слоями торфяной залежи и водным режимом верховых болот Северо-Запада // Тр. ГГИ. – Л., 1960. Вып. 89. С. 92-122.
4. Bergström, S., The HBV model, computer models of watershed hydrology (editor: V.p. singh). Water Resources Publications (1995)
5. Selling B., Modelling Hydrological Impacts of Forest Clearcutting through Parameter Regionalization /Uppsala University (2015)
6. Bouffard J-S., A Comparison of Conceptual Rainfall-Runoff Modelling Structures and Approaches for Hydrologic Prediction in Ungauged Peatland Basins of the James Bay Lowlands /Carleton UniversityOttawa (2014)

МОНИТОРИНГ АКТИВНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ В АРКТИКЕ И АНТАРКТИКЕ

Замолодчиков Д.Г.[1], Маслаков А.В.[2], Иващенко А.И.[2], Каганов В.В.[1]
[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия
[2]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

MONITORING OF ACTIVE SOIL LAYER IN ARCTIC AND ANTARCTIC

Zamolodchikov D.G.[1], Maslakov A.A.[2], Ivaschenko A.I.[2], Kaganov V.V.[1]
[1]Center for Ecology and Productivity of Forests, Moscow, Russia
[2]M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Международная программа «Циркумполярный мониторинг активного слоя» (CALM – Circumpolar Active Layer Monitoring) стартовала в начале 1990-х годов. Первоначально площадки CALM располагались в циркумполярной Арктике и высокогорьях Евразии. С середины 2000-х годов в сеть вошли несколько площадок Антарктики. Авторы доклада осуществляют мониторинг на двух площадках CALM: R23 Тальник (20 км южнее г. Воркута) и R27 Лаврентия (Чукотский п-ов) В 2007 г. при участии авторов была устроена площадка A18 Беллинсгаузен в окрестностях одноименной антарктической станции. Для обеих арктических площадок в Арктике очевиден тренды к увеличению глубины активного слоя, составляющий 29.5 и 6.8 см за 10 лет по площадкам R23 и R27 соответственно. Площадка A18 демонстрирует статистически незначимый тренд к уменьшению глубины активного слоя (-3.5 см за 10 лет). Тренды глубины активного слоя соответствуют изменениям температуры теплого периода в районах исследований. Анализ данных с веб-сайта программы CALM показывает, что тренд к увеличению глубины активного слоя присутствует в XXI веке на всей территории циркумполярной Арктики, в то время как в Антарктике изменения активного слоя незначимы.

The international program "Circumpolar Active Layer Monitoring" (CALM) was initiated in the early 1990s. Initially, the CALM sites were located in the circumpolar Arctic and highlands of Eurasia. Several Antarctic sites have been included in the network since the middle 2000s. The authors of the report carry out monitoring at two CALM sites: R23 Talnik (20 km south of Vorkuta) and R27 Lavrentiya (Chukotka Peninsula). In 2007, with the participation of the authors, site A18 Bellingshausen was established in the vicinity of the Antarctic station of the same name. For both Arctic sites in the Arctic, there are obvious trends towards an increase in the depth of the active layer, which is 29.5 and 6.8 cm over 10 years for sites R23 and R27, respectively. Site A18 demonstrates a statistically insignificant trend towards a decrease in the depth of the active layer (-3.5 cm over 10 years). The trends in the depth of the active layer correspond to changes in the temperature of the warm season in the study areas. Analysis of data from the CALM website shows that a trend towards an increase in the depth of the active layer is present in the 21st century throughout the circumpolar Arctic, while in the Antarctic the changes in the active layer are insignificant.

Зона распространения многолетнемерзлых пород охватывает примерно четверть от площади суши. В теплое время года в этой зоне на границе атмосферы и литосферы появляется относительно тонкий слой оттаявшего грунта, в котором многократно ускоряются физические, химические и биологические процессы. Именно поэтому данный слой носит название «активного». Динамика сезонного оттаивания определяется температурным режимом почвы, существенное влияние на который оказывает целый ряд факторов, из которых можно упомянуть температурный режим воздуха, теплопроводность растительного и почвенного покрова, влажность, толщину

снежного покрова и так далее. Сочетания этих факторов в мерзлотных ландшафтах разнообразны, что создает серьезные проблемы при оценке и прогнозе воздействия глобальных изменений климата на динамику активного слоя и состояние верхних слове многолетней мерзлоты. Изложенные соображения послужили основанием для формирования с 1990 г. международной программы «Циркумполярный мониторинг активного слоя» (CALM – Circumpolar Active Layer Monitoring) [1]. Первоначально площадки CALM располагались в циркумполярной Арктике и высокогорьях Евразии. С середины 2000-х годов в сеть вошли несколько площадок Антарктики.

Стандартный подход программы предполагает устройство квадратных площадок со стороной 100 м и проведение измерений глубины оттаивания при помощи щупа ежегодно для конца теплого сезона в узлах, расположенных через каждые 10 м. Результаты мониторинга по всем площадкам за весь период наблюдений доступны на веб-сайте программы CALM http://www.gwu.edu/~calm.

Авторы доклада осуществляют долгосрочный мониторинг на двух площадках CALM: R23 Тальник (20 км южнее г. Воркута) и R27 Лаврентия (Чукотский п-ов) [2-4]. В 2007 г. одним из авторов была устроена площадка A18 Беллинсгаузен в окрестностях одноименной антарктической станции, расположенной на острове Кинг-Джордж в Южных Шетландских островах. В дальнейшем измерения на этой площадке осуществлялись членами Российских антарктических экспедиций.

Для обеих арктических площадок в Арктике очевидны тренды к увеличению активного слоя. Этот тренд (для арктических площадок рассматривается временной интервал 2001-2019 гг.) по площадке R23 Тальник составляет 29.5 (P<0.01) см за 10 лет (рис. 1). Это максимальное значение тренда из всех имеющихся пунктов CALM. Из других площадок CALM близкое значение (25.2 см за 10 лет) отмечается на площадке R1 Надым. По площадке R27 Лаврентия тренд равен 6.8 (P=0.02) см за 10 лет. Однако площадка A18 Беллинсгаузен демонстрирует статистически незначимый тренд к уменьшению глубины активного слоя (-3.5 см за 10 лет, P=0.76).

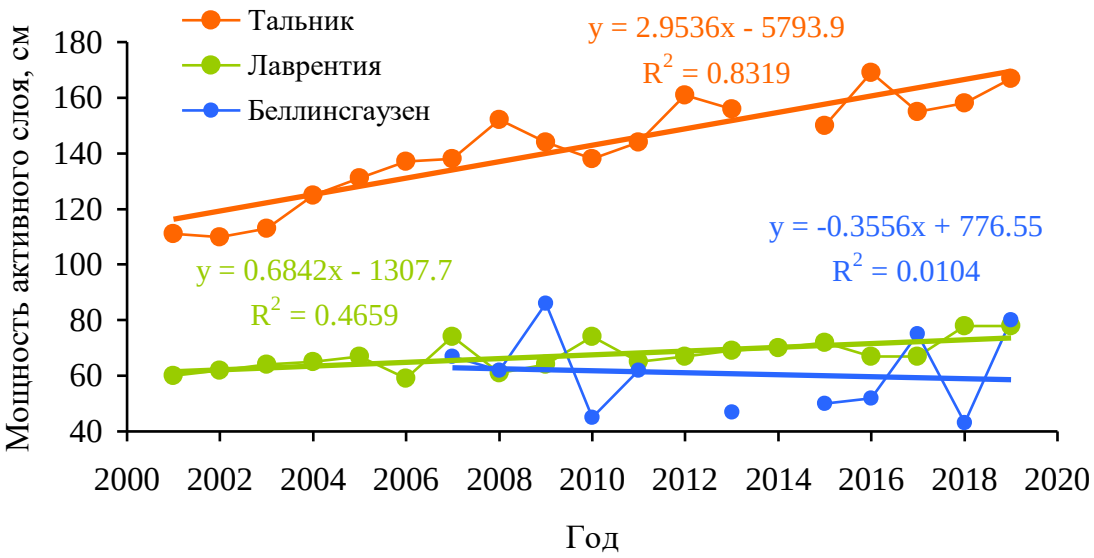


Рис. 1. Динамика мощности активного слоя на площадках R23 Тальник, R 27Лаврентия и A18 Беллинсгаузен.

Отмеченные тренды можно объяснить характером изменения локальных температур. Проверим это утверждение, используя ряды температур воздуха теплого периода за 2001-2019 гг. по метеостанциям Воркута. Уэлен и Беллинсгаузен, ближайшим к площадкам R23, R27 и A18 соответственно. За теплый период у арктических метеостанций принят интервал июнь-сентябрь, к антарктической –январь-март. По метеостанции Воркута отмечается статистически

значимый тренд к увеличению температуры воздуха теплого периода на 0.82°C за 10 лет (P=0.05). Аналогичная величина по метеостанции Уэлен составляет 0.67°C за 10 лет (P=0.003). Температурный тренд по метеостанции Беллинсгаузен слабо отрицателен (уменьшение на 0.20°C за 10 лет) и статистически незначим (P=0.13). Увеличение температур теплого периода на арктических метеостанциях является следствием глобальных изменений климата, приводящих к повышению температур в большинстве регионов земного шара [5]. Однако есть и исключения, и к ним принадлежат некоторые антарктические районы, в том числе Южные Шетландские острова.

Средняя за рассматриваемый срок мощность активного слоя составила по площадке R23, 142.2, R27 67.5, A18 60.8 см. Различия между R23 Тальник и R26 Лаврентия логично объясняются температурами теплого периода (4 месяца), составляющими в среднем 8.95 и 5.32°C. Однако мощность активного слоя на площадке A18 Беллинсгаузен оказывается слишком большой в сравнении с температурой и длительностью теплого периода (1.17°C, 3 месяца). Здесь сказывается высокая теплопроводность антарктического грунта, полностью лишенного мохово-лишайникового покрова и органогенных горизонтов.

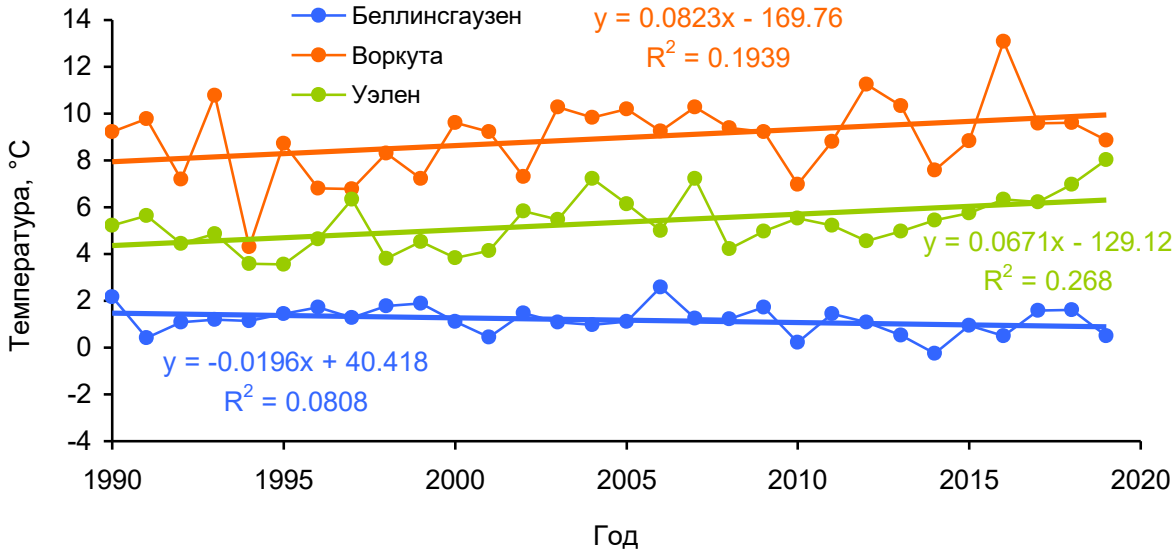


Рис. 2. Динамика температуры воздуха за теплый период по данным метеостанций Воркута, Уэлен и Беллинсгаузен.

Оценим, в какой степени охарактеризованные тренды мощности активного слоя являются общими для площадок, входящих в сеть CALM. Общее число арктических площадок, измерения на которых проводились в разные годы, равно 255, из них по настоящее время действуют 150. К сожалению, для многих площадок характерны укороченные ряды либо продолжительные пропуски данных. Из действовавших на 2019 г. площадок были выбраны те, у которых временные ряды начинались не позднее 2001 г. Для Российской Арктики таковых площадок было 17, для остальной части Арктической зоны 34. По временным рядам данных выбранных площадок как для Российской, так и для остальной Арктики выявлены статистически значимые тренды к увеличению активного слоя, равные соответственно 4.0 (P=0.03) и 6.4 (P<0.01) см за 10 лет (рис. 3). Имеется положительная корреляция между рядами средних значений по Российской и остальной Арктике (R=0.30), но эта связь незначима статистически (P=0.21). Следовательно, межгодовые вариации активного слоя в большей степени определяются региональными особенностями, чем факторами циркумполярного масштаба.

В Антарктике имеется всего 8 активных площадок, и лишь 1 площадка имеет непрерывный ряд данных с 2006 по 2019 гг. В этой связи процедуры фильтрации к данным по антарктическим площадкам не применялись, а количество усредняемых значений варьирует по годам от 4 до 7. Для интервала 2008-2019 гг. по антарктическим площадкам выявлен

статистический незначимый (P=0.76) тренд к увеличению глубины активного слоя (0.8 см за 10 лет).

Анализ данных по площадкам международной программы «Циркумполярный мониторинг активного слоя» показывает, что в XXI веке циркумполярная Арктика демонстрирует значимый тренд к увеличению мощности активного слоя, который следует сопоставить с ростом температур в связи с глобальным изменением климата. В Антарктике тренд мощности активного слоя отсутствует, что связано с различиями характера температурных изменений по разным антарктическим регионам.

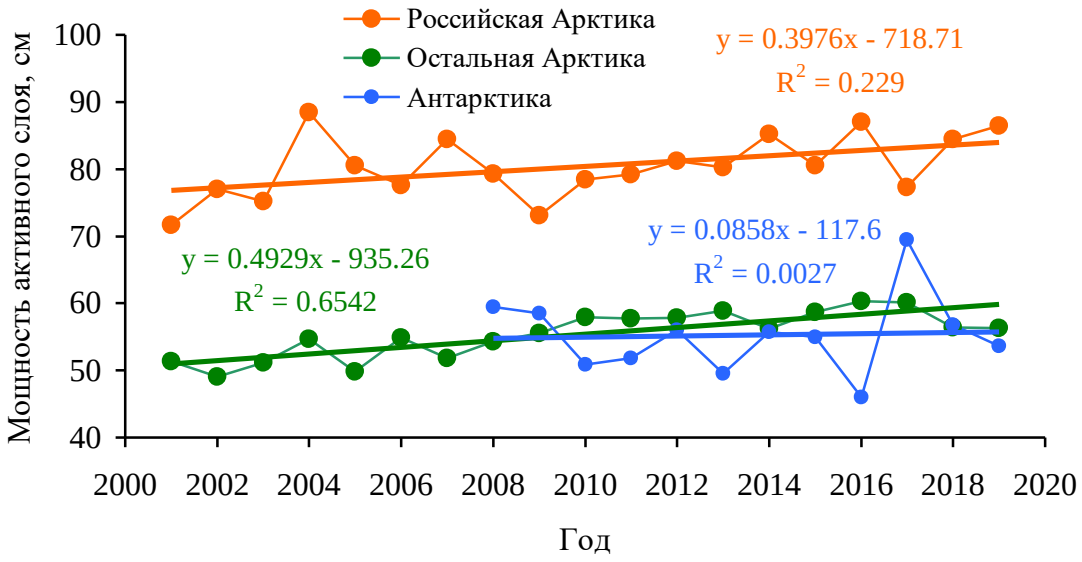


Рис. 3. Динамика мощности активного слоя на площадках CALM в российской Арктике, остальной Арктике и Антарктике.

Исследование поддержано темой госзадания № АААА-А18-118052590019-7 Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН и РФФИ № 18-35-00192 «Трансформация геокриологических условий побережья Восточной Чукотки на фоне климатических изменений».

Литература

1. Brown J., Hinkel K.M., Nelson F.E. 2000. The circumpolar active layer monitoring (CALM) program: Research designs and initial results. – Polar Geography, vol. 24(3), pp. 166-258.
2. Abramov A., Davydov S., Ivashchenko A., Karelin D., Kholodov A., Kraev G., Lupachev A., Maslakov A., Ostroumov V., Rivkina E.M., Shmelev D., Sorokovikov V., Tregubov O., Veremeeva A., Zamolodchikov D., Zimov S. 2019. Two decades of active layer thickness monitoring in northeastern Asia. – Polar Geography. Doi: 10.1080/1088937X.2019.1648581.
3. Mazhitova G., Malkova (Ananjeva) G., Chestnykh O., Zamolodchikov D. 2004. Active layer spatial and temporal variability at European Russian Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) sites. – Permafrost and Periglacial Processes, vol. 15, pp. 123-139.
4. Zamolodchikov D.G., Kotov A.N., Karelin D.V., Razzhivin V.Yu. 2004. Active-layer monitoring in Northeast Russia: spatial, seasonal, and interannual variability. – Polar Geography, vol. 28, No. 4, pp. 286-307.
5. Hartmann D.L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne P.W., Wild M., Zhai P.M. 2013. Observations: Atmosphere and Surface – Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, Cambridge. – 151 p.

ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ НА НИЖНЕЙ ОБИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

Захарова[1] Е.А., Агафонова[2] С.А., Duguay[3] С., Кураев[4] А.В., Фролова[2] Н.Л.
[1] Институт водных проблем АН РАН, Москва, Россия
[2] МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия
[3] Университет Ватерлоо, Ватерлоо, Канада
[4] LEGOS/OMP, Тулуза, Франция

RIVER ICE PHENOLOGY OF LOWER OB FROM SATELLITE ALTIMETRY

Zakharova[1] E.A., Agafonova[2] S.A., Duguay[3] C., Kouraev[4] A.V., Frolova[2] N.L.
[1] Water problem institute, Moscow, Russia
[2] Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia
[3] University of Waterloo, Waterloo, Canada
[4] LEGOS/OMP, Toulouse, France

В работе продемонстрирована возможности спутниковой альтиметрии для решения задач ледового мониторинга. В качестве материалов использованы данные о толщине льда и ледовых условиях на 5 гидрологических постах Нижней Оби и значения сигнала спутника Jason 2 на 49 виртуальной станции.

In the paper, the capability of satellite altimetry for ice monitoring is discussed. The ice thickness and ice conditions at 5 hydrological stations Of the Lower Ob river and the backscatter of the Jason 2 satellite for 49 virtual stations were used as materials.

Данные дистанционного зондирования Земли из космоса широко применяются в исследованиях ледового режима рек. Совместное использование наземной и спутниковой информации позволяет давать пространственно-временную характеристику объекта исследования для решения различных научных и практических задач. Особую актуальность дистанционные методы приобретают в условиях Арктики, где данные наземных гидрологических постов часто ограничены.

Ежедневные данные радиометров MODIS (спутники Terra и Aqua) и AVHRR (спутники NOAA) позволяют получать непрерывные по длине крупных арктических рек данные о сроках вскрытия, используя сочетание видимых и ближнего ИК каналов с пространственным разрешением до 1 км. В 2016 г. был представлен автоматизированный алгоритм, позволяющий фиксировать сроки вскрытия рек по сегментам, длиной 10 км [1, 2]. Для Арктической зоны России в связи с прекращением в 1992 г. регулярных ледовых авиаразведок карты ледовой обстановки в устьевых областях крупных сибирских рек составляются также по данным радиометров MODIS и AVHRR [3].

В исследованиях ледового режима рек широко используются данные радиолокационных космических спутников TerraSAR-X (X-диапазона), ALOS/PALSAR (L-диапазона), RADARSAT, ENVISAT и Sentinel-1 (C-диапазона длин волн). Подобная съемка позволяет получать информацию вне зависимости от освещения и облачности, что крайне важно для арктических территорий. Радиолокационные изображения позволяют классифицировать поверхность ледяного покрова в зависимости от шероховатости (наличия и размеров торосов) и влажности, выделять участки открытой воды и трещины.

Для получения оперативной информации часто используют мультиспутниковые данные. В рамках проекта IceFRONT для целей оперативного мониторинга замерзания анализировались снимки MODIS, Landsat-8, RADARSAT-2 и TERRASAR-X [4]. В 2009

г. ИТЦ «СКАНЭКС» совместно с несколькими региональными управлениями Росгидромета апробировали технологию оперативного мультиспутникового мониторинга ScanNet. В рамках проекта «Половодье» использовались радиолокационные снимки RADARSAT-1 и ENVISAT, оптические снимки EROS A/B и SPOT 4 [5].

Цель данной работы – оценить эффективность использования спутниковой альтиметрии для ледового мониторинга протяженного участка реки. Спроектированная в целях измерения уровня вод в Мировом океане, спутниковая альтиметрия с конца 90х годов прошлого столетия начала широко применяться в гидрологических исследованиях вод суши. Первые работы были посвящены измерениям уровня вод рек и озер. За последние несколько лет область применения значительно расширилась: в ряде работ продемонстрирована возможность их использования для изучения влажности почв, режима увлажнения и сроков замерзания/таяния болот, установление/сход льда на крупных озерах [6, 7].

В качестве объекта исследования в данной работе выбран 400-км участок нижнего течения р. Оби (рис. 1). Ледовый режим Нижней Оби характеризуется устойчивым ледоставом. Средняя за последние 40 лет продолжительность периода ледовых явлений меняется по длине исследуемого участка от 200 до 214 сут., ледостава – от 190 до 200 сут. Ледяной покров Оби ежегодно используется в качестве зимних дорог. Ледовая переправа соединяет г. Салехард и г. Лабытнанги, из-за высокой густоты речной сети зимник Аксарка – Салемал – Панаевск – Яр-Сале на 80 % состоит из ледовых переправ.

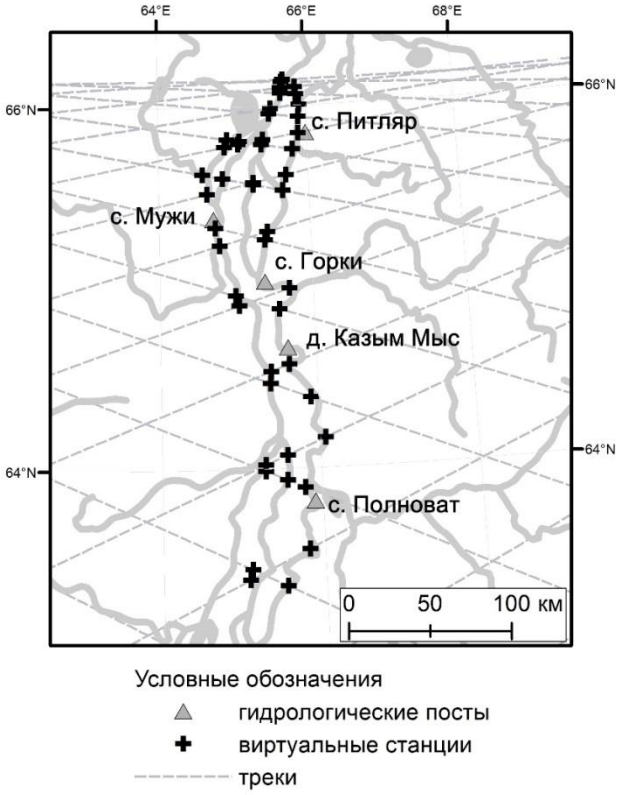


Рис. 1. Исследуемая территория

Первые ледовые образования на Нижней Оби появляются в конце октября. Формирование ледяного покрова начинается с участков сужений, крутых поворотов русла и отмелей. Здесь происходит остановка и смерзание плывущих льдин, образование ледяных перемычек. Средние сроки установления ледостава на участке Нижней Оби от с. Полноват до с. Питляр 26 октября – 5 ноября. В 30% случаев

установление ледостава на всем участке происходит в течение 2–3 дней, в 15% случаев распространение ледостава занимает более 10 сут. Нарастание ледяного покрова продолжается до апреля, максимальная толщина льда составляется в среднем около 1,0 м. Весенний ледоход на р. Обь выше г. Салехард проходит в среднем во второй декаде мая. Из-за высокой заболоченности реки исследуемой территории имеют несколько затяжной характер вскрытия и лед к началу ледохода значительно теряет свою прочность. Весенний ледоход в нижнем течении р. Обь в 90–100% случаев сопровождается выходом воды на пойму. Среди населенных пунктов, подверженных затоплению в период весеннего ледохода: пос. Горки, с. Мужи и г. Салехард [8].

Материалы и методы

В работе использованы данные спутника Jason-2 (49 виртуальных станций по основному руслу и протокам – рис. 1). За период работы (2008–2016 гг.) альтиметрический радар обеспечивал измерения в диапазонах Ku (13,6 ГГц) и C (5,3 ГГц) и покрывал регулярными (каждые 10 сут.) измерениями все области Земного шара между широтами 66.1° ю.ш. и 66.1° с.ш. В 2016 г. на ту же орбиту был выведен спутник-преемник Jason-3.

Сила отраженного сигнала альтиметрических радаров зависит от рассеивающих свойств подстилающей поверхности. На соотношение величин поверхностного и объемного рассеивания влияет наличие воды. При уменьшении влажности отражающей поверхности (почвы, снега или льда) начинает преобладать объемное рассеивание. Первые ледовые явления значительно уменьшают поверхностную шероховатость водной глади, формируя практически зеркальную для альтиметрического сигнала поверхность. В результате этого большая часть испускаемого спутникового сигнала отражается назад, что выражается в высоких значениях коэффициента обратного рассеивания (бэкскаттера). На графиках временного хода бэкскатера такие ситуации выглядят как предзимние пики. По мере нарастания толщины ледяного покрова растет величина объемного рассеивания альтиметрического эха внутри льда. Мощность отраженного сигнала снижается до момента появления воды на льду. Подобное сезонное изменение величины отраженного альтиметрического сигнала легло в основу алгоритма мониторинга установления и разрушения ледяного покрова рек и нарастания его толщины.

В качестве наземных исходных данных использована информация 5 гидрологических постов: с. Полноват, д. Казым-Мыс, с. Горки, с. Мужи и с. Питляр. Стандартная программа на постах включает ежедневные визуальные наблюдения за ледовой обстановкой и состоянием ледяного покрова, а также измерение толщины льда, шуги и высоты снега на льду каждые 5 – 10 сут. Измерение толщины льда производят на середине реки в створе поста.

Согласно [9] пространственная зональная изменчивость толщины льда на реках связана с изменчивостью метеорологических условий (температур воздуха и суммы твердых осадков), локальные неоднородности обусловлены морфологическими особенностями русла и локальными условиями формирования ледяного покрова, мелкомасштабная изменчивость носит случайный характер и имеет плановые размеры от первых метров до 2-3 десятков метров.

Данные о толщине льда на выбранных постах довольно хорошо скоррелированы между собой, хотя и отличаются по абсолютным значениям. Наибольшая разница наблюдается между данными постов д. Казым Мыс и с. Мужи: в отдельные годы – до 20 см. В качестве подспутниковых данных для виртуальных станций выбиралась ближайшая станция с наибольшим коэффициентом корреляции между значениями сигнала и толщиной льда. Значения толщины ледяного покрова и снега на льду между сроками наблюдений восстанавливались линейной интерполяцией.

Для верификации данных о ледовой обстановке также использовались оптические снимки (Sentinel-2 и Landsat-8), которые позволили проиллюстрировать пространственную изменчивость ледовых условий по длине основных проток Нижней Оби в период формирования и разрушения ледяного покрова.

Результаты

Описанный выше сезонный ход значений коэффициента обратного рассеяния позволяет предполагать, что последний годовой пик соответствует началу ледообразования на реке, а рост значений сигнала в весенний период – началу термического разрушения ледяного покрова. Выделение «пиков» возможно, как вручную, так и с помощью разработанного автоматического алгоритма. Проверка показала, что в 90% случаев разница между сроками начала осенних ледовых явлений по гидрологическим постам и по виртуальным станциям менее 10 сут., в 56 % случаев – близка к 0. Для весенних сроков разница менее 10 сут. отмечалась в 88 % случаев. На данном этапе «ручной» метод позволяет лучше отслеживать поведение альтиметрического сигнала при многопиковом временном ходе, автоматический алгоритм также дает сбой в случае пропусков альтиметрических измерений в местах сложной морфологии речных берегов (высокий корренной берег).

По данным измерений толщины ледяного покрова на гидрологических постах и данным альтиметрических измерений составлены эмпирические зависимости. Среднеквадратическая ошибка (RMSE) расчетов толщины льда варьируется от 7 до 18 см, коэффициент корреляции – от 0,76 до 0,94. Высокие значения ошибок отмечаются в случае формирования торосистого льда или сохранении полыньи в период ледостава.

В построенных эмпирических зависимостях не используется информация о высоте снега на льду, т.к. это приводило к снижению коэффициентов корреляции. Считается, что рассеяние электромагнитных волн Ku-диапазона в снежном покрове невелико и высотой снега на льду можно пренебречь. Но влажность и шероховатость снега в зимний период меняются: происходит его уплотнение, ветровое перераспределение, смачивание речной водой и смерзание. Для оценки влияния снега на процессы обратного рассеяния для речных условий необходима более подробная наземная информация о структуре снежного покров на льду.

Сеть речных постов в Арктической зоне России никогда не была достаточной для решения возникающих научных и практических задач. Используя предложенные эмпирические зависимости, проведены расчеты толщины льда на всех 49 виртуальных станциях в период ледостава и составлены пространственно-временные графики толщины ледяного покрова Нижней Оби на 400 км ее участке. В условиях густотой сети зимних дорог и ледовых переправ подобная информация могла быть крайне полезной для транспортной отрасли региона и местного населения. Сравнение значений, полученных по данным гидрологических постов и рассчитанных по данным альтиметра, показало, что на данном этапе рассчитанные значения толщины льда в начале ледостава несколько завышены по сравнению с наземными и алгоритм требует некоторой доработки. Тем не менее, разработанный алгоритм достаточно надежно отслеживает начало ледовых явлений и начало термического разрушения ледяного покрова. Учитывая неоднородность условий замерзания вдоль основного русла и проток и связанную с этим пространственную изменчивость толщины ледяного покрова в первые месяцы ледостава, повышение точности рассчитанных значений может быть обеспечено привлечением данных оптических и радиолокационных снимков в период замерзания.

Адаптация алгоритмов для других альтиметрических спутников той же серии (TOPEX/Poseidon), позволила бы проанализировать временную изменчивость сроков ледовых явлений и толщины ледяного покрова с 1992 г. и показать наблюдаемые

изменения на значительном участке реки. Перспективным также является совместное использование альтиметров Jason и Sentinel 3. Хотя период повторной съемки Sentinel 3 составляет 22 дня и такие данные не подходят для оперативного мониторинга, комбинация нескольких альтиметров позволила бы значительно уплотнить сеть виртуальных станций и получить более детальную характеристику ледяного покрова на участке исследования.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ №18-05-60021–Арктика.

Литература

1. Pavelsky T.M., Smith L.C. Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and AVHRR time series // Remote sensing of environment/ 2004. Vol. 93. pp. 328–338. Doi:10.1016/j.rse.2004.07.018
2. Cooley S., Pavelsky T. Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup revealed by automated ice detection from MODIS imagery // Remote sensing of environment. 2016. Vol. 175. pp. 310–322. Doi: 10.1016/j.rse.2016.01.004
3. Налимов Ю. В., Ильина А. Н. Ледовые процессы в устьевых областях крупных рек бассейна Карского моря (с использованием дистанционного зондирования) // Труды IV Всероссийской конференции «Ледовые и термические процессы на водных объектах России». Рыбинск: КЮГ. 2013. С. 31–38.
4. Gauthier Y ., Hardy S., Gutiérrez C., Padel A., Gaudreau J., Poulin J., Jasek M., Bernier M., Gomez H., Roth A. IceFRONT: Integration of radar and optical images for operational river freeze-up monitoring // 18th W orkshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. 2015.
5. Лупачев Ю. В., Скрипник Е. Н., Кучейко А. А. Опыт космического мониторинга развития весеннего половодья на реке Северная Двина в 2010 г. // Земля из Космоса. 2010. Вып. 6. С. 57–68.
6. Zakharova E., Kouraev A., Rémy F., Zemtsov V., Kirpotin S. Seasonal variability of the Western Siberia wetlands from satellite radar altimetry // Journal of Hydrology. 2014, V. 512. pp. 366–378. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.03.002
7. Kouraev A., Shimaraev M., Buharizin P., Naumenko N., Crétaux J-F., Mognard N., Legrésy B., Rémy F. Ice and snow cover of continental water bodies from simultaneous radar altimetry and radiometry observations // Surveys in geophysics. 2008. Vol. 29. pp. 271–295. Doi: 10.1007/s10712-008-9042-2
8. Агафонова С. А. Ледовый режим рек арктической зоны Западной Сибири в современных климатических условиях // Арктика и Антарктика. 2017. № 2. С. 25–33.
Чижов А.Н. Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 126 с

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА аРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА

Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кочетов О.Ю., Швоев Д.А.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

AUTOMATIC MONITORING SYSTEM OF THE ARCTIC BASIN

Zatsein A.G., Ostrovskii A.G., Kochetov O.Yu., Shvoev D.A. PROJECT OF
P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

Представлена определенная конфигурация системы автоматического мониторинга водной среды Арктического бассейна. Система состоит из автоматизированных зондов-профилографов, оснащенных средствами спутниковой навигации и связи, и береговых средств получения данных измерений в оперативном режиме.

A specific configuration of the system for automatic monitoring of the aquatic environment of the Arctic basin is presented. The system consists of automated probes-profilographs equipped with satellite navigation and communication facilities, and on-shore facilities for obtaining measurement data on-line.

Интенсификация освоения Арктического бассейна в интересах экономической и оборонной деятельности сопровождается совершенствованием систем автоматического мониторинга состояния морской среды. Задачей современных систем мониторинга является обеспечение оперативной информацией, необходимой для своевременного и качественного принятия управленческих решений при минимальных затратах.

Данные мониторинга должны оперативно усваиваться в численных гидродинамических моделях различного уровня, в том числе, высокоразрешающих гидродинамических моделях на структурированной сетке, С помощью расчетов на этих моделях производится текущее оценивание и краткосрочный прогноз состояния морской среды. Умение оценивать и прогнозировать состояние морской среды позволяет повысить эффективность различных операций на море и предотвратить негативные последствия хозяйственной деятельности.

В докладе представлены предварительные результаты разработки научных основ автоматизированной 3-х уровневой (верхний слой океана – лед – приземный слой атмосферы) системы оперативного мониторинга Арктического бассейна. Для мониторинга состояния морской среды предлагается передовая технология подледных зондирований с помощью автономных роботизированных комплексов. Данная технология должна быть реализована в создании действующего макета автономной ледовой дрейфующей станции (рис.1), состоящей из: 1) подводного перемещающегося вверх-вниз носителя, который оснащен СТД-зондом и акустическим доплеровским профилографом течений (носитель перемещается по тросу с грузом на конце, опущенном с ледовой платформы, а данные с носителя передаются оперативно на соответствующий плавучий модуль на ледовой платформе с помощью индуктивной врезки в ходовой трос), 2) метеостанции (температура воздуха + атмосферное давление) с системой спутниковой связи Гонец-М или Iridium и навигации GPS/Глонасс на плавучем буе-держателе, размещенном на ледовой платформе.

Автономная ледовая дрейфующая станция разрабатывается в России впервые. Разработка будет основана на опыте создания заякоренного автоматического мобильного зонда-профилографа [1, 2]. Данный зонд, разработанный в ИО РАН, производится уже более 8 лет, продавался в различные страны, работал в различных морях Европы и Азии, на юге и на севере, в том числе, в Карском море. Наиболее долго и плодотворно он работал на Черном море, в составе автономных станций, размещенных на гидрофизическом полигоне ИО РАН в районе Геленджика [3.

В фокусе разработки находится особо экономичный носитель, периодически погружающийся на глубину и поднимающийся к нижней поверхности льда. Носитель автоматически передвигается по тросу, который вывешен с грузом с припайного или

дрейфующего льда, благодаря тому, что оснащен программируемым устройством изменения плавучести. Данное устройство имеет адаптивный объем, позволяющий регулировать величину архимедовой силы, выталкивающей носитель из воды. Это обеспечивает экономию источника электропитания носителя, который снаряжен батареей, достаточно энергоемкой для многократного зондирования водной толщи на протяжении не менее 6 месяцев. Общее количество циклов погружения/всплытия зависит от глубины погружения, но оно должно быть не менее 200 до глубины 300 м при скорости течения 0.3 м/с.

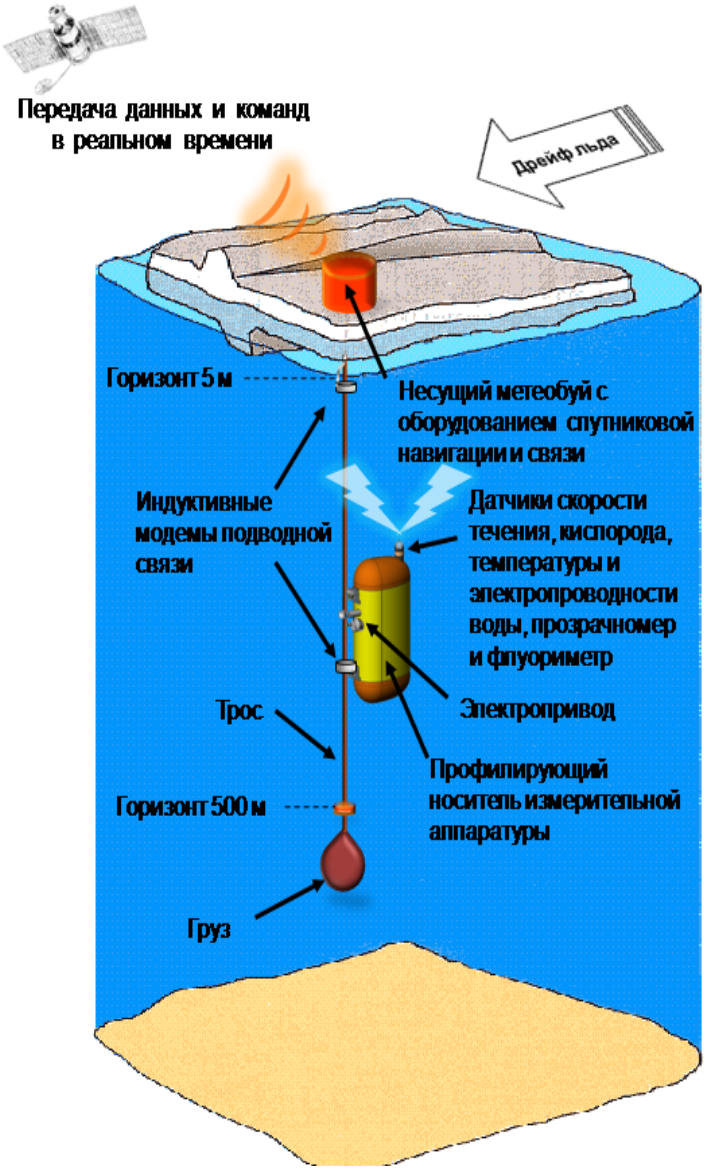


Рис. 1. Схема функционирования макета автономной ледовой дрейфующей станции автоматического мониторинга водной среды. Пояснения даны на самом рисунке.

Действуйющий макет носителя оснащен: 1) комплектом датчиков температуры, электропроводности и давления типа Sea&Sun CTD 48M, 2) акустическим доплеровским профилографом течений (ADCP) типа Aquadopp Profiler. Глубина погружения носителя с ADCP будет регистрироваться по показаниям датчика давления. В минимальной комплектации ADCP должен обеспечивать измерение вертикального профиля скорости течения в столбе воды толщиной не менее 3 м с разрешением по вертикали не хуже 0.3 м. Причем ADCP должен быть смонтирован в верхней части носителя, а измерения должны производиться путем импульсного

зондирования водной толщи снизу вверх. При подъеме носителя на некотором расстоянии от нижней кромки льда ADCP начнет регистрировать отраженный от льда сигнал. По этим данным будет определяться расстояние до горизонта, с которого начинается ледовый покров. Остановка носителя должна производиться на определенном расстоянии от нижней поверхности льда. Используя знание этого расстояния, а также значение давления на горизонте остановки носителя, можно будет определить характерную толщину льда.

В случае попадания буя-держателя в воду в результате разрушения или таяния ледяного покрова автономная стация должна продолжать работу в штатном режиме.

Для организации оперативного мониторинга и управления процессом измерений будет проведена разработка программно-технических средств передачи данных. Связной тракт будет состоять из двух основных участков:

- бесконтактной связи в морской воде между профилирующим зондом и поверхностным буем-держателем,
- связи между поверхностным буем-держателем и береговым пунктом сбора и обработки данных и управления мониторингом.

Технические средства, интегрирующие два основных участка связного тракта, должны располагаться в ретрансляционном плавучем буе-держателе, который вмораживается в лед. Буй будет оснащен метеостанцией с датчиками температуры воздуха и атмосферного давления. В состав технических средств, размещенных на буе-держателе должен входить многофункциональный терминал связи Гонец/Iridium, способный принять и передать информацию на искусственные спутники Земли (ИСЗ) и определить координаты посредством встроенного GNSS приемника.

Результатом массового практического использования автономных дрейфующих ледовых станций может явиться создание системы оперативной океанографии Арктики, основанной на 3-х уровневой автоматизированной системе наблюдений: дистанционном зондировании ледового покрова из космоса, метеорологических измерениях в приземном слое воздуха и гидрофизических подледных измерениях. При этом метеорологические и гидрофизические измерения проводятся на пространственно-распределенной сети автоматизированных океанографических ледовых станций. С помощью этой сети будут изучены разномасштабные закономерности эволюции морского ледяного покрова в Арктике в условиях глобальных климатических изменений, в том числе, в целях оптимизации системы развертывания и поддержания сети оперативных наблюдений. Многолетнее использование предлагаемой автоматизированной мониторинговой системы позволит проследить изменения климата Арктики в первой половине XXI века в трех средах: воздушной, ледяном покрове и морской водной толще.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы 0149-2019-0011 при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-60124.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Ostrovskii A., Zatsepin A.* Short-term hydrophysical and biological variability over the northeastern Black Sea continental slope as inferred from multiparametric tethered profiler surveys // Ocean Dynamics. - 2011. - 61. - P. 797-806.
2. *Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А.* Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной станции буйковой станции // Океанология. - 2013. - Т. 53, № 2. - С. 259-268.
3. *Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кременецкий В.В. и др*. Подспутниковый полигон для изучения гидрофизических процессов в шельфово-склоновой зоне Черного моря // ФАО. 2014. №1 С.16-29.

БИОПРОДУКТИВНОСТЬ КАРСКОГО МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ

Зеленева Т.П., Чанцев В.Ю.
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

BIO-PRODUCTIVITY OF THE KARA SEA OVER THE PAST DECADE

Zeleneva T.P., Chantsev V.U.
Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

Состояние и перспективы исследований Карского моря рассматриваются в связи с изменением климата и социально-экономической ситуации. Результаты позволяют сделать выводы о динамике численности некоторых видов гидробионтов и возможности их промышленного вылова, чему способствуют благоприятные климатические условия последнего десятилетия.

The state and prospects of research in the Kara sea are considered in connection with climate change and the socio-economic situation. The results allow us to draw conclusions about the dynamics of the number of some species of hydrobionts and the possibility of their industrial catch, which is facilitated by favorable climatic conditions of the last decade.

Моря арктического шельфа от Баренцева до Чукотского часто рассматривают, как единую природно-экономическую систему, образующую трассу Северного морского пути. В этой системе особое место занимает Карское море. На него замыкаются крупнейшие, самые густонаселенные и экономически развитые в Сибири бассейны Оби и Енисея.

Карское море относится к западному сектору Российской Арктики. Естественной западной границей Карского моря является архипелаг Новая Земля, восточной – архипелаг Северная Земля (рис.1.) [1].

Рис.1. Естественные границы Карского моря

Влияние изменения климата на моря арктического шельфа представляет существенный интерес с экологической и экономической точек зрения, поскольку экосистемы северных морей особенно чувствительны к изменению состояния среды, в том числе к изменению климата, а их роль в экономике страны значительна [2].

Потепление в арктических морях уже привело к заметным изменениям в видовом составе и численности популяций. Так, усиление притока атлантических вод в арктические моря способствовало проникновению в Карское море представителей таких видов, как атлантическая сельдь, черный палтус.

Появляются возможности организации морского рыбного промысла в открытых районах Карского моря, но в неблагоприятные годы дрейфующие льды могут закрыть промысловые районы в любой из летних месяцев.

С конца 70-х годов прошлого века отмечается выраженный положительный тренд средних интегральных значений температуры и солености в Карском море. Рост как летних, так и зимних температур с конца 1970-х годов составил 0.8-0.9°.

Средняя ледовитость в Карском море уменьшилась на 37 %, это означает, что в теплый период море почти полностью или полностью очищается ото льдов [2].

Ледовитость как интегральный климатический фактор существенно влияет на все основные звенья морских экосистем — от планктона (первичная продукция) до высших консументов (тюлени и белые медведи). Вместе с тем, ледовые условия иногда ограничивают акваторию для ведения промышленного лова рыбы. В годы с высокой ледовитостью промысел ограничен районами южной и юго-западной частей Баренцева моря, в годы с отрицательными аномалиями ледовитости акватория лова значительно расширяется в северном и восточном направлениях.

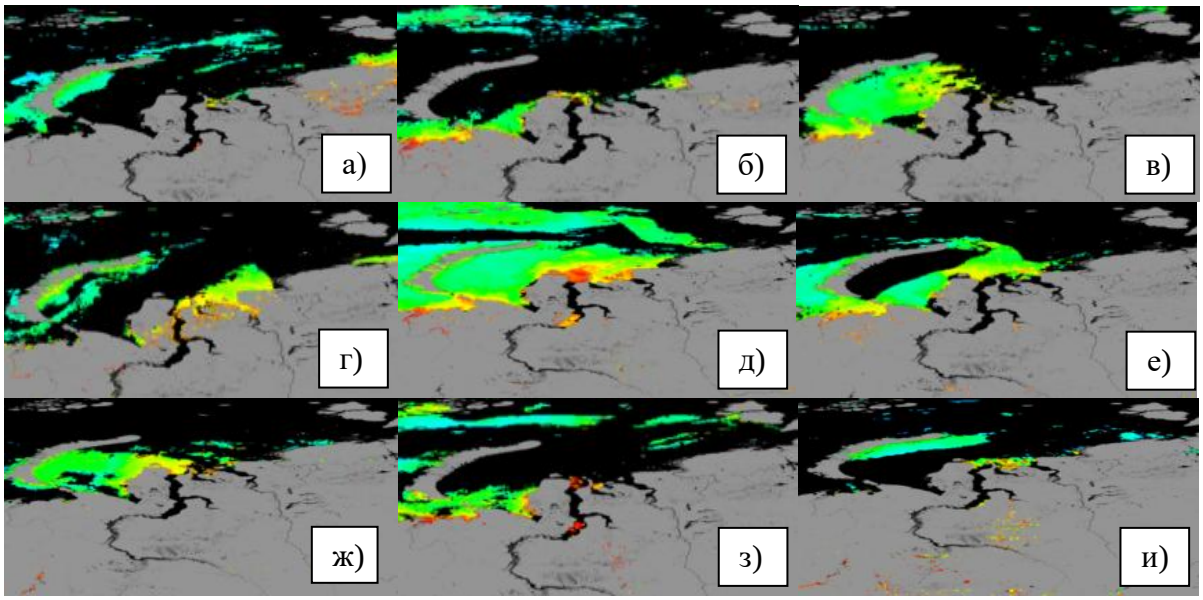
Изучение первичной продуктивности вод Карского моря до начала 90-х годов почти не проводилось. В 1933 г. П. П. Ширшов при помощи кислородной модификации скляночного метода провел первые измерения скорости фотосинтеза на глубине 10 м. В августе - сентябре 1981 г. для открытой ото льда юго-западной части Карского моря были получены радиоуглеродным методом данные по первичной продукции и содержанию хлорофилла "а" на различных горизонтах [3].

Микроводоросли составляют основу большинства трофических цепей планктонного биоценоза и в значительной степени определяют экологическую обстановку в морской среде. Основную роль в фотосинтетическом процессе играет хлорофилл "а". Его содержание является важнейшей характеристикой, по которой можно определить схематичные показатели биомассы фитопланктона.

Соотношение концентрации хлорофилла "а" и биомассы фитопланктона меняется в зависимости от ряда физических и биологических факторов, но этот параметр широко используется для глобальных и локальных оценок первичной продукции. Наблюдения за изменением концентрации хлорофилла "а" с использованием спутников позволяет получить практически синхронную глобальную информацию о важнейших параметрах экосистем океана в кратчайшие сроки и в удобном формате. Исследование взаимосвязей этих параметров с физическими процессами в океане и атмосфере важно не только для понимания происходящего, но и для возможности прогнозирования состояния морских экосистем в различных районах Мирового океана.

В Карском море насчитывается 264 вида фитопланктона, в том числе Bacillariophyta – 148, Dinophyta – 89, Chrysophyta – 9, Cyanophyta – 9, Chlorophyta – 7, Xanthophyta – 1 и Haptophyta – 1 [3].

В осенне-зимний период наличие фитопланктона в акватории Карского моря по спутниковым данным не зафиксировано. В весенне-летний период биомасса фитопланктона изменяется в поверхностном слое воды от 0.1 до 64 мг/м$^{-3}$. Наибольшие концентрации фитопланктона приходятся на июнь-август, данные представлены на рисунке 2.



а) 6.08.2012 Chl-a = 0.1-1 мг/м$^{-3}$, б) 6.08.2013 Chl-a = 1-3 мг/м$^{-3}$, в) 6.08.2014 Chl-a = 0.5-10 мг/м$^{-3}$,
г) 6.08.2015 Chl-a = 0.2-30 мг/м$^{-3}$, д) 6.07.2016 Chl-a = 3-64 мг/м$^{-3}$, е) 6.07.2017 Chl-a = 0.5-10 мг/м$^{-3}$,
ж) 6.09.2018 Chl-a = 1-15 мг/м$^{-3}$, з) 6.08.2019 Chl-a = 1-40 мг/м$^{-3}$, и) 6.08.2020 Chl-a = 0.1-10 мг/м$^{-3}$

Рис. 2. Изменение концентрации хлорофилла "а" в Карском море с 2012 по 2020 год

Ихтиофауна арктических морей России довольно длительное время оставалась малоизученной. В последнее время ихтиологические исследования этих морей значительно активизировались, но основное внимание уделялось изучению видового состава ихтиофауны отдельных регионов и систематике и распределению отдельных таксонов. Изучение особенностей биологии и главным образом питания и трофических взаимоотношений рыб арктических морей было затруднительным в связи с отсутствием широкомасштабных съёмок, при которых возможен сбор большого количества биологических данных. К таким малоизученным морям относится и Карское море [4].

Масштабный промысел на акватории Карского моря отсутствует, небольшие промысловые ресурсы сосредоточены в устьях рек и прибрежной зоне моря. Несмотря на небольшую региональную добычу – до 150–200 т, эти ресурсы имеют огромное значение для местного населения.

В Карском море водятся 54 вида рыб, базовыми промысловыми рыбными объектами в эстуариях по данным последних 10 лет являются: ряпушка восточносибирская (Coregonus sardinella), пелядь (Coregonus peled), сиг-пыжьян (Coregonus lavaretus pidschian), чир (Coregonus nasus), нельма (Stenodus leucichthys), налим (Lota lota), омуль арктический (Coregonus autumnalis), ёрш пресноводный (Gymnocephalus cernuus). Наибольшую ценность представляют сиговые виды: нельма, муксун, чир, пелядь, сиг-пыжьян, омуль.

В настоящее время один из важнейших вопросов, связанных с экосистемами и биологическими ресурсами морской Арктики, – возрастут ли биологическая продукция и объём доступных биоресурсов вследствие потепления арктического климата, удлинения безлёдного периода и увеличения площади открытой воды в летний сезон.

Долговременная тенденция потепления климата приведёт к росту численности мойвы, что положительно скажется на запасах трофически зависимых биологических ресурсов – трески и других хищных видов рыб. Экспертные оценки говорят о возможном увеличении российского промысла при потеплении регионального климата на треть – до 1.4–1.6 млн. т. [5].

Литература

1. Васильев А.А., Стрелецкая И.Д. , Черкашев Г.А., Ванштейн Б.Г. ДИНАМИКА БЕРЕГОВ КАРСКОГО МОРЯ//Криосфера Земли, 2006, т. X, № 2, с. 56–67.
2. Ашик И.М., Карклин В.П., Кириллов С. А., Радионов В. Ф., Тимохов Л.А. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации Арктические моря России
3. Долгов А.В., Бензик А.Н., Четыркина О.Ю. Питание непромысловых рыб и их роль в продуктивности экосистемы Карского моря // Труды ВНИРО / Водные биологические ресурсы.-2014 г. Том 152.
4. Кобелев Е.А., Новоселов А.П. 2000. Состав ихтиофауны и структура популяций промысловых рыб Байдарацкой губы Карского моря // Биологические ресурсы прибрежья Российской Арктики: Материалы к симпозиуму. М.: Изд-во ВНИРО. С. 57–63.
5. ФЛИНТ М.В. БИОРЕСУРСЫ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ//ВЕСТНИК РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК /Издательство: Российская академия наук (Москва) 2015 г. Том 85.

О ПОДОБИИ ПРОЦЕССОВ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ И СМЕНЕ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНА

Иванов В.В. [1], Кузнецова Т.Г. [2]
[1] Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Санкт-Петербург, Россия
[2] Институт физиологии им. И.П.Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

SIMILARITY OF THE PROCESSES OF ADAPTATION OF THE HUMAN ORGANISM AFTER DISEASES AND CHANGING CLIMATIC AREA

Ivanov V.V. [1], Kuznetsova T.G. [2]
[1]Institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia
[2]Pavlov Institute of physiology, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Исследованы процессы адаптации организма человека после заболевания воспалительной природы и смене климатогеографического района. Показано, что оценка степени синхронизации частоты сердечных сокращений и частоты дыхания более эффективна при использовании их отношения.

The processes of adaptation of the human body after the disease of inflammatory nature and the change of climatogeographic region are studied. It is shown that the estimation of the degree of synchronization of heart rate and respiratory rate is more effective when using their relationship.

Известно, что центральные механизмы регуляции двух важнейших функций – кровообращения и дыхания тесно связаны. Внешне эта связь проявляется в форме дыхательной аритмии, связанной с одновременным уменьшением или увеличением частоты дыхания и частоты сердцебиения [1, 2].

В данной работе использовано отношение частоты пульса к частоте дыхания при анализе интенсивности и длительности процессов адаптации у одного и того же испытуемого в двух различных ситуациях. В первом случае исследованы процессы адаптации его организма после заболевания воспалительной природы (ангина) на интервале в два года – 1989-1990 гг. “Острая” форма заболевания проявилась в апреле 1989 г. Место нахождения испытуемого – Санкт-Петербург (СПб). Во втором, в период с ноября 1994 г. по ноябрь 1996 г., – при смене климатогеографического района. Исходное место нахождения испытуемого – СПб. В январе-феврале 1995 г. испытуемый находился в Заполярье – на полярной станции Колба (о. Диксон), после чего возвратился в СПб.

Трижды в день (утром, днем и вечером) в состоянии покоя испытуемым определялись собственные частота сердечных сокращений (*ЧСС)* – пальпаторно в течение одной минуты и частота дыхания (*ЧД)* – как число циклов вдох-выдох за этот же промежуток времени. Средние за день показатели использовались для получения их отношения: $K = ЧСС/ЧД$. Кроме того на каждом 3-х месячном интервале со сдвигом в один месяц определяли коэффициент корреляции между ними и показатель напряжённости сердечного ритма (*K*), характеризующий аттракторные свойства *ЧСС* [3].

Сопоставление вариаций показателей, характеризующих 1-й и 2-й случаи адаптации, проводилось путём наложения полученных реализаций друг на друга и совмещения их “критических” точек, соответствующих моментам последействия (после заболевания и после возвращения испытуемого в СПб), когда отношение *K* в обоих случаях приняло минимальное значение. А для вариаций коэффициента *K* – ещё и путём предварительной нормализации их

уровней по минимумам, которым присваивалось нулевое значение, и максимумам, которым ставилась в соответствие единица.

Результаты исследования. На рис. 1 представлена динамика *ЧСС*, *ЧД*, и их отношения *К* (кривые 1, 2, 3) при развитии у испытуемого острого инфекционного заболевания. Видно, что с началом развития заболевания связь между *ЧСС* и *ЧД* изменяется. Отмечается незначительное снижение *ЧСС* и ступенчатое повышение *ЧД*, что приводит к резкому падению уровня показателя *К* с последующей стабилизацией.

В момент резкого ухудшения состояния, когда температура тела повышается до 40°С, *ЧСС* до 98 уд в мин, *ЧД* до 32 циклов в мин – уровень *К* скачком снижается до нижней отметки.

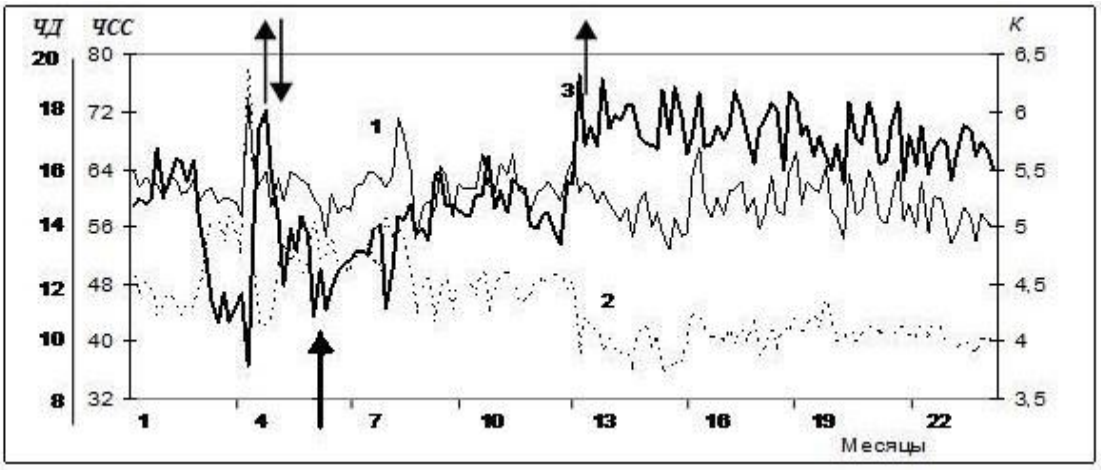


Рис. 1. Динамика *ЧСС* (кривая 1), *ЧД* (кривая 2) и их отношения *К* (кривая 3) при изменении функционального состояния в связи с острым воспалительным заболеванием. Третья стрелка – "критическая" точка, характеризующая момент последействия

В последующие дни развития болезни одновременный рост *ЧСС* и *ЧД* (первая стрелка вверх) с последующим скачкообразным падением *ЧД* (вторая стрелка вниз) приводит к столь же интенсивному росту уровня *К*, после чего, с ростом *ЧД*, происходит его снижение до минимума, соответствующего "критической" точке (третья стрелка). После чего отношение *К* постепенно повышается. Спустя 11-12 мес. от начала заболевания и 9-10 мес от его "острого" проявления отмечается заметный подъём среднего уровня показателя *К* (четвёртая стрелка вверх), связанный с таким же резким падением *ЧД*, и его стабилизация с небольшим отрицательным трендом.

На рис. 2 представлена динамика *ЧСС*, *ЧД* и их отношения *К* (кривые 1, 2, 3) при смене климатогеографического района. При перемещении испытуемого на северо-восток в период первого месяца зимовки отмечается резкий подъём уровня *К*, связанный, прежде всего, с увеличением *ЧСС* и снижением *ЧД* (первая стрелка вверх). В первые дни появления диска Солнца над горизонтом (вторая стрелка вниз) происходит интенсивное снижение *К* (которое продолжается и после перемещения испытуемого с северо-востока – о. Диксон на юго-запад – Санкт-Петербург) до минимума, соответствующего "критической" точке последействия (третья стрелка). После чего отношение *К* постепенно повышается.

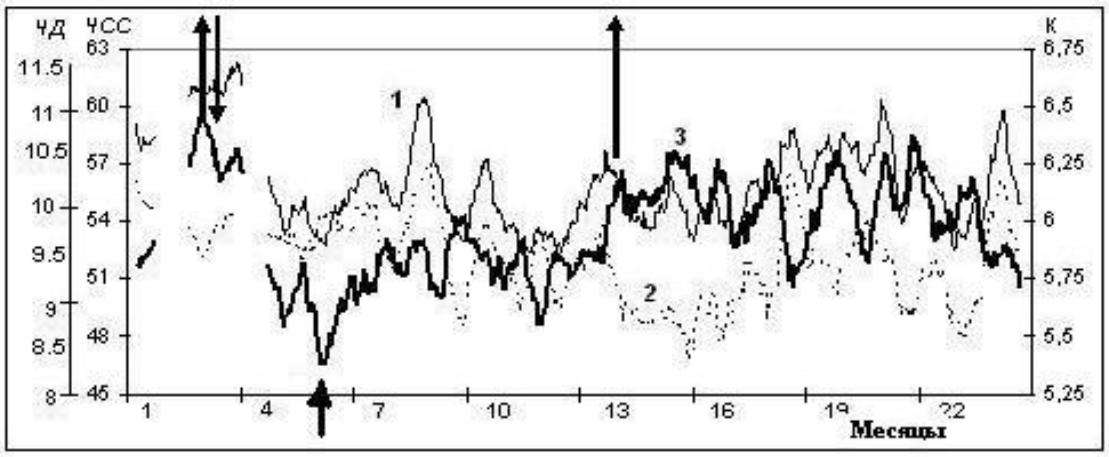


Рис. 2. Динамика *ЧСС* (кривая 1), *ЧД* (кривая 2) и их отношения *К* (кривая 3) при изменении функционального состояния в связи со сменой климатогеографического района. Третья стрелка – "критическая" точка, характеризующая момент последействия

Спустя 11-12 мес. от точки экстремальных значений *ЧСС, ЧД* и их отношения *К* и 9-10 мес от "критической" точки последействия отмечается заметный подъём среднего уровня показателя *К* (четвёртая стрелка вверх), связанный с таким же резким падением *ЧД*, и его стабилизация с небольшим отрицательным трендом.

На рис. 3 представлена динамика коэффициентов корреляции (*r*) между *ЧСС* и *ЧД* после совмещения "критических" точек последействия (стрелка): кривая 1 – в период заболевания, кривая 2 – при изменении климатогеографического района.

Видно, что для первого случая адаптации (кривая 1) с проявлением заболевания связь между *ЧСС* и *ЧД*, в силу нарушения синхронности ритмов, стала отрицательной: r = -0.13. Восстановление уровня *r* до установившегося стабильного значения 0.6-0.8 от начала заболевания составило 4-5 мес.

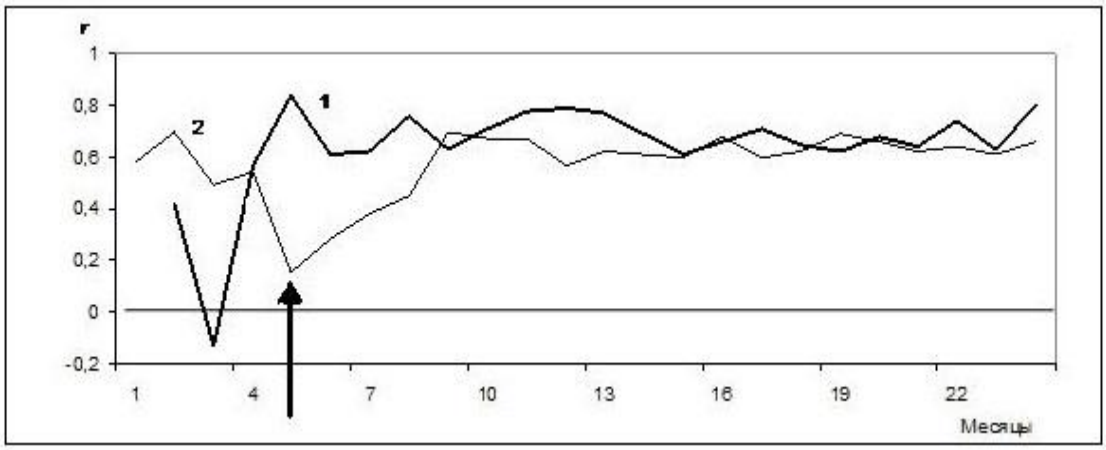


Рис. 3. Совместное изменение коэффициентов корреляции (*r*) *ЧСС* и *ЧД* в ходе адаптации во время заболевания (кривая 1) и при смене климатогеографического района (кривая 2) после совмещения "критических" точек последействия (стрелка)

Для второго случая адаптации (кривая 2), применительно к первому интервалу, включающему исходное состояние испытуемого, *r* между *ЧСС* и *ЧД* составил 0.58. При смене климатогеографического района десинхронизация ритмов *ЧСС* и *ЧД* произошла на втором месяце после возвращения в СПб, *r* упал до 0.17. Восстановление уровня *r* до стабильного значения 0.6-0.8 составило 4-5 мес.

Рис. 4 характеризует динамику показателя напряжённости сердечного ритма *К* в описываемых ситуациях после совмещения "критических" точек последействия (стрелка).

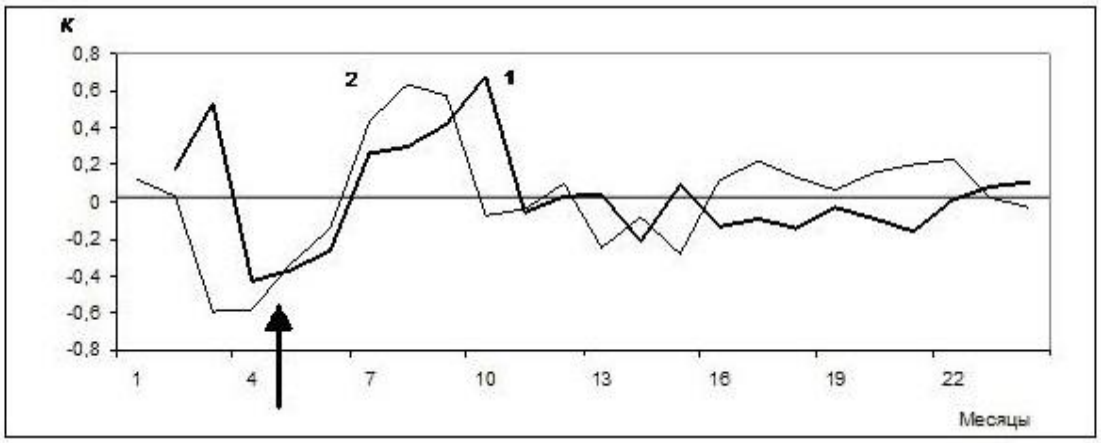


Рис. 4. Совместное изменение показателей напряжённости сердечной деятельности (*К*) в ходе адаптации во время заболевания (кривая 1) и при изменении климатогеографического фактора (кривая 2) после совмещения "критических" точек последействия (стрелка)

В исходном состоянии эти показатели составили 0.17 и 0.19, что соответствует слабой вариабельной напряжённости сердечного ритма. В состоянии предболезни (кривая 1) вариабельная напряжённость усилилась до 0.53. В период "острого" проявления болезни показатель изменил знак и стал равным -0.42, что соответствует аритмической напряжённости. Спустя 8-9 мес. после начала болезни показатель достиг максимального значения 0.68. После чего, через 1-2 мес., его значение приблизилось к нулю. Процесс восстановления исходного значения составил 9-10 мес.

При нахождении испытуемого в Заполярье (кривая 2), в первые дни появления диска Солнца над горизонтом (после полярной ночи), вариабельная напряжённость сердечного ритма перешла в аритмическую, характеризуемую минимальным значением показателя -0.6. С возвращением испытуемого в СПб значение показателя напряжённости осталось прежним: -0.6. Спустя 3-4 мес. показатель достиг максимального значения 0.62, определяющего высокий уровень вариабельной напряжённости. После чего, через 1-2 мес., его значение приблизилось к нулю. Процесс восстановления исходного значения составил 9-10 мес.

Выразительной иллюстрацией подобности рассматриваемых процессов является рис. 5, который представляет нормированные показатели отношений *ЧСС* к *ЧД* (кривые 1 и 2) после совмещения "критических" точек последействия (стрелка). Характер изменения кривых проявляет подобие, коэффициент корреляции (*r*) составляет 0.62.

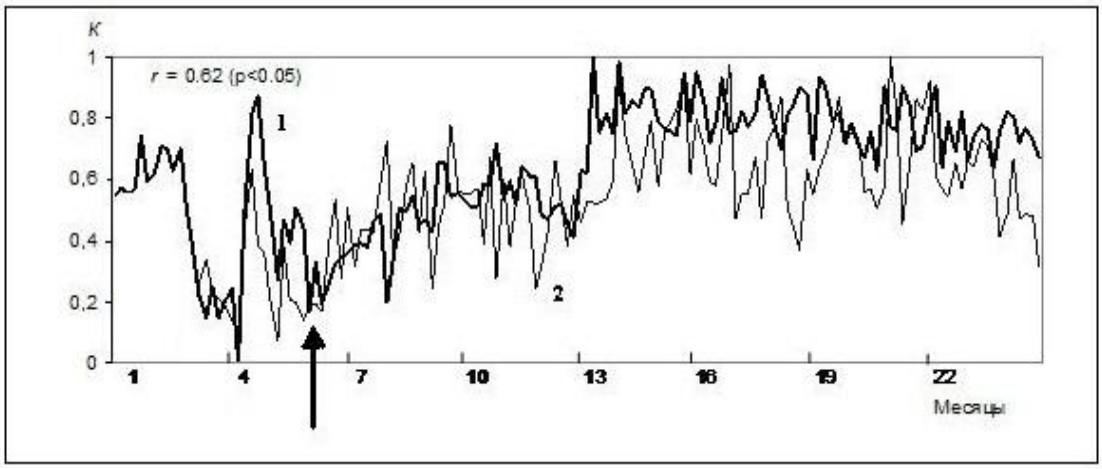


Рис. 5. Совместное изменение нормированных уровней отношения *ЧСС* к *ЧД* (*К*) в ходе адаптации во время заболевания (кривая 1) и при изменении

климатогеографического района (кривая 2) после совмещения “критических” точек последействия (стрелка)

Анализ результатов показывает, что наиболее информативным является показатель *К = ЧСС/ЧД*, использование которого позволило успешно выявить все срывы адаптации организма к экстремальным ситуациям. При этом динамика исследуемых показателей в случае адаптации к смене климатогеографического района указывает на то, что перемещение испытуемого на северо-восток (из СПб на о. Диксон) приводит к резкому изменению *ЧСС* и отношения *К* до максимальных значений и срыву синхронизации *ЧСС* и *ЧД*, в то время как при обратном перемещении (на юго-запад – с Диксона в СПб) наблюдается резкое снижение отношения *К* на фоне срыва синхронизации *ЧСС* и *ЧД*.

Приведённые факты дают возможность предположить, что в характере адаптации к любым стрессовым воздействиям, будь то заболевание, резкие изменения внешней среды и т. д., лежат общие закономерности, направленные на выработку оптимальной стратегии организма, обеспечивающей его гомеостаз.

Литература

1. Оранский И.Е., Царфис П.Г. Биоритмология и хронотерапия (хронобиология и хронобальнеофизиотерапия). М.: Высшая школа. 1989. 159 с.

2. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Медицина. 1979. 295 с.

3. Иванов В.В., Костыгова К.Н., Кузнецова Т.Г., Шуваев В.Т. Сердечный ритм шимпанзе при различных эмоциональных состояниях в процессе целенаправленной деятельности.//Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. Т.88. №9, 2002. С. 1225-1229.

ГРИБОВИДНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА GLORYS12V1

Иванов К.Д.[1], Травкин В.С.[1]
[1]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

MUSHROOM FLOW OF THE LOFOTEN BASIN ACCORDING TO GLORYS12V1 REANALIS DATA

Ivanov K.D.[1], Travkin V.S.[1]
[1]Saint Petersburg State University, St.Petersburg, Russian Federation

В работе с помощью реанализа GLORYS12V1 исследуются грибовидные течения в Лофотенской котловине.

In this work, using GLORYS12V1 reanalysis, mushroom flow in the Lofoten Basin are investigated.

Введение

Лофотенская котловина, расположенная в центральной части Норвежского моря, является одной из наиболее энергоактивных областей Арктического бассейна. С западной и восточной части котловину огибают две основные ветви Норвежского течения, несущие в Арктический бассейн теплые и соленые атлантические воды – Норвежское фронтальное и Норвежское склоновое течения. С юга и востока котловина ограничена платом Воринг и континентальным склоном Норвегии, а с северо-запада хребтом Мона. Все это позволяет считать Лофотенскую котловину обособленным образованием, которому присущи специфические свойства крупномасштабной циркуляции вод [1].

Объектом исследования являются грибовидные течения (или вихревые диполи). Это одна из самых часто встречающихся форм когерентных движений вод в океане [2, 3]. Перенос воды внутри данной структуры осуществляется в направлении струйной части структуры, при этом окружающие воды вовлекаются внутрь вихрей диполя. Грибовидные течения обладают свойством создавать сложные мультипольные структуры, состоящие из упаковок и разветвления первоначальных вихрей во вторичные диполи. Это свойство делает данные течения эффективным механизмом перемешивания вод в океане [4].

Целью работы является обнаружение грибовидных течений в Лофотенской котловине Норвежского моря с последующим выявлением их основных свойств, поиск наиболее интересных мезомасштабных взаимодействий в период с 2008 по 2018 гг., таких как: слияние и разъединение отдельных вихрей, эволюция и изменчивость дипольных и трипольных структур.

В работе используются ежедневные данные температуры, солености, u и v компонентов скоростей реанализа GLORYS12V1 (https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030) за период 2008-2018 гг. Пространственная дискретность составляет 1/12° (около 8 км), по вертикали массив содержит 50 горизонтов. Данный реанализ основан на системе прогнозирования CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service), также компонентом модели является платформа NEMO.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 18-17-00027).

Литература

1. Алексеев В.А., Иванов В.В., Репина И.А., Лаврова О.Ю., Станичный С.В. Конвективные структуры в Лофотенской котловине по данным спутников и буёв Арго // Исследование Земли из космоса. 2016. № 1–2. С. 90–104.
2. Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана // Л.: Гидрометеоиздат. 1988. С. 303.

3. Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Грибовидные течения (вихревые диполи) – одна из наиболее распространенных форм когерентных движений в океане // Когерентные структуры и самоорганизация океанских движений. М.: Наука. 1992. С. 12–20.
4. Гинзбург И.А., Крек Е.В., Костяной А.Г., Соловьев Д.М. Эволюция мезомасштабного антициклонического вихря и вихревых диполей/мультиполей на его основе в юго-восточной Балтике (спутниковая информация: май-июль 2015 г.) // Океанологические исследования. 2017. Т. 45. № 1. С. 10–22

ОЗЕРНЫЙ ФОНД АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Измайлова А.В.
ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург

LAKE FUND OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Izmailova A.V.
Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg

Арктическая зона РФ характеризуется богатством водных ресурсов, в том числе озёрных. Согласно проведённой оценке, в её пределах дешифрируется более 2,5 млн. водоёмов, суммарная площадь водной поверхности которых составляет 160 тыс. кв. км, а суммарный объём вод 760 куб. км. Озёрные воды активно используются для водоснабжения ряда населённых пунктов Арктики, что обостряет вопрос об их экологическом состоянии.

The Arctic zone of the Russian Federation is characterized by a riches of water resources, including lakes waters. According to the assessment, more than 2.5 million water bodies are deciphered within its limits, the total area of it`s water surface is 160 thousand square kilometers and the total volume of water is 760 cubic kilometers. Lake waters are actively used to a number of Arctic settlements, which exacerbates the issue of their ecological state.

Территории, относящиеся к Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), согласно последним уточнениям её границ, охватывают чуть менее четверти страны. Они характеризуются богатейшими запасами природных ископаемых, так что их поэтапное, сбалансированное освоение, включающее рациональное использование ресурсной базы при одновременном сбережения окружающей среды, признано среди важнейших стратегических задач социоэкономического развития государства [1]. К важнейшим составляющим природной среды, определяющим как экономический рост, так и жизнедеятельность человека, относятся водные ресурсы. Наряду с речным стоком, традиционно признанным их основой, они включают воды пресных озёр, крайне многочисленных в арктических регионах. При этом, в условиях слабой инфраструктуры, озёрные воды часто используются в качестве источника водоснабжения, как питьевого, так и промышленного. В этой связи вопрос количественных характеристик озёрного фонда Арктической зоны Российской Федерации с дальнейшей попыткой определения их качества, приобретает особую актуальность.

Согласно выполненной автором оценке озёрного фонда страны [2], в пределах Российской Федерации на спутниковых снимках дешифрируется ~3,9 млн. водоёмов, в том числе ~1,37 млн. озёр (естественных водоёмов площадью более 1 га). Суммарная площадь водной поверхности всех водоёмов составляет ~400 тыс. км^2, включая озёра с солёной водой (~20 тыс. км^2). Водные ресурсы, содержащиеся в озёрах оцениваются ~25 910 км^3. На Арктическую зону приходится около 2/3 всех водоёмов страны, в её пределах дешифрируется более 2.5 млн. водоёмов, из которых около 975 тысяч превышают по площади зеркала 1 га. Суммарная площадь водной поверхности арктических озёр составляет ~160 тыс. км^2 [3] или чуть менее половины суммарной площади водной поверхности всех естественных водоёмов РФ. Суммарный объём вод, заключённых в озёра Арктической зоны РФ, оценивается в ~760 км^3 или около 3% от суммарного запаса озёрных вод России. Поскольку ~91% озёрных вод страны заключён в оз. Байкал, можно вычислить, что без его учёта суммарный запас российских озёрных вод составляет лишь 2295 км^3. То есть при огромном числе водных объектов Арктической зоны, занимающих значительные площади, суммарный запас заключённых в них вод составляет лишь около 1/3 данной величины. Большинство водоёмов характеризуется как небольшими размерами, так и малыми глубинами. Наиболее глубокие озёра Арктической зоны приурочены к плато Путорана и Балтийскому кристаллическому щиту. Значительными глубинами характеризуется также ряд горных водоёмов Полярного и Северного Урала, а также

островов архипелага Новая Земля. В 32 самых крупных озёрах плато Путорана сконцентрировано ~45% от суммарного запаса озёрных вод всей АЗРФ, в водоёмах Балтийского щита – более 11%. На рис. 1 приведено распределение количества дешифрируемых водоёмов, площадей водной поверхности и объёмов озёрных вод по субъектам Федерации, включённым в АЗРФ.

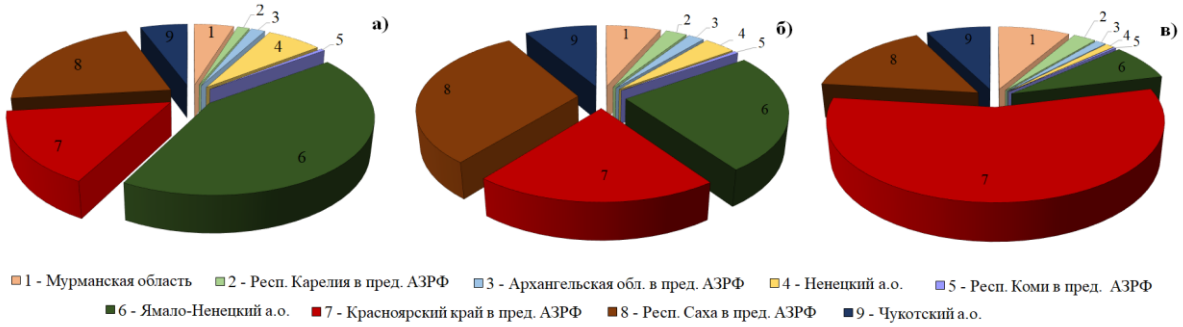


Рис. 1. Распределение количества дешифрируемых водоёмов (а), площади водной поверхности (б) и объёмов озёрных вод (в) по субъектам Федерации, входящим в АЗРФ.

Согласно выполненной оценке, средняя озёрность АЗРФ составляет около 4.2%, что в 2 раза превышает среднюю озёрность по стране. Повышенный коэффициент озёрности характерен практически для всех территорий, входящих в Арктическу зону (рис. 2). Его наиболее высокие значения наблюдаются в пределах Мурманской области, включённых в АЗРФ муниципальных районов Республики Карелия, большей части Ямало-Ненецкого автономного округа, городского округа Норильска, Туруханского и южной части Таймырского Долгано-Ненецкого районов Красноярского края, а также целого ряда входящих в АЗРФ улусов Республики Саха.

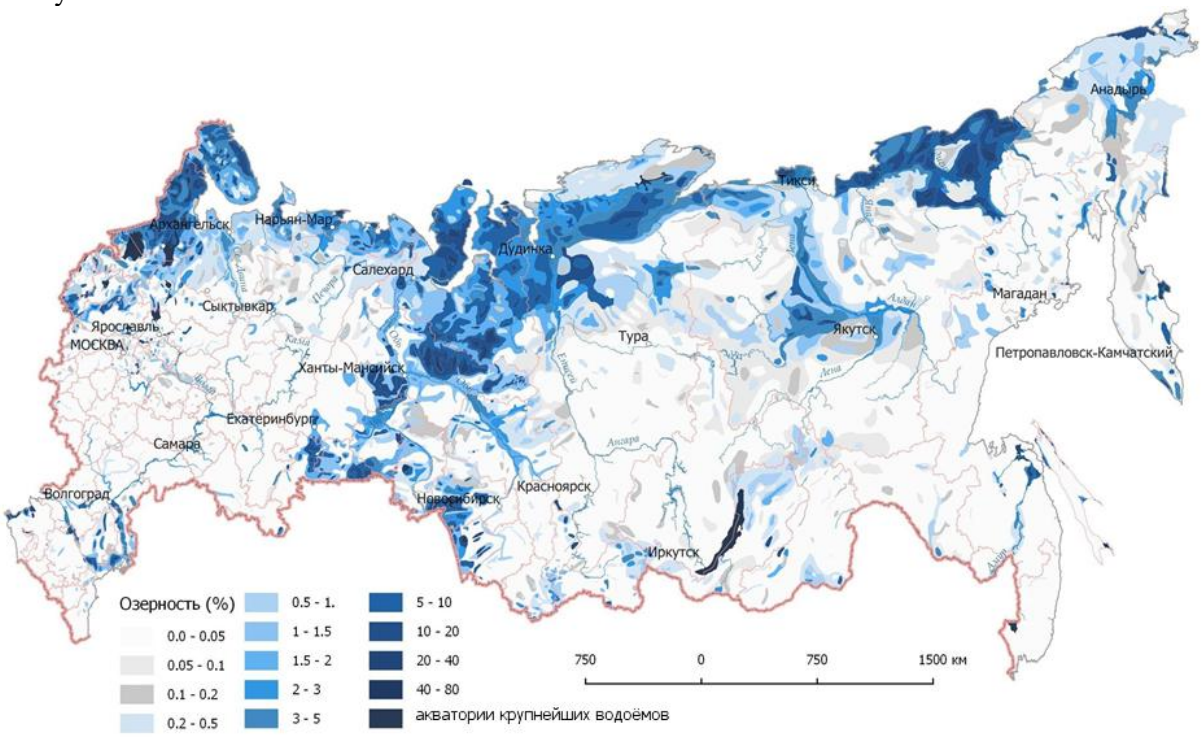


Рис. 2. Естественная озёрность Российской Федерации.

Ещё в середине XX столетия озера российской Арктики, за редким исключением, характеризовались высочайшим качеством своих вод. Постепенное загрязнение озёр происходило по мере разведки и разработки месторождений полезных ископаемых, создания вблизи них населённых пунктов и

развития производственной и социальной инфраструктуры. Несмотря на низкую лимнологическую изученность северных территорий, работы, выполненные в последние десятилетия специалистами различных институтов и организаций позволяют составить сводную таблицу о современное состоянии качества воды озёрного фонда субъектов Федерации, входящих в АЗРФ (таблица)

Таблица – Современное состояние озёрного фонда Арктической зоны РФ

регион	основные виды хозяйственной деятельности, сказывающиеся на экологическом состоянии озерных экосистем											основные изменения, произошедшие с озерными экосистемами					
	токическое загрязнение, связанное с промышленными стоками	токическое загрязнение, связанное с сельскохозяйственными стоками	загрязнение, связанное с транспортировкой нефти и газа	аэротехногенное загрязнение	транзитное загрязнение с речным стоком	загрязнение за счет геолого-разведывательных и строительных работ	модификации озерных систем, связанные с гидростроительством	уничтожение естественных ландшафтов, сказывающееся на режиме озер	биогенное загрязнение, связанное с сельскохозяйственными стоками	загрязнение за счет коммунальных стоков	рекреационная нагрузка	токическое загрязнение водоемов	ацидификации водоемов	антропогенное эвтрофирование	заиление	инвазии	Снижение рыбных ресурсов
Мурманская область	2	0	0	2	0	1	1	1	0	1	0	2	2	1	0	1	2
Районы Республики Карелия в рамках АЗРФ	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
Районы Архангельской обл. в рамках АЗРФ	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Ненецкий авт. округ	1	0	2	2	1	1	0	1	0	1	0	2	1	1	1	1	1
Районы Республики Коми в рамках АЗРФ	1	0	2	2	1	1	0	1	0	1	0	2	1	1	1	1	1
Ямало-Ненецкий авт. округ	1	0	2	2	2	2	0	1	0	0	0	2	2	1	1	1	1
Районы Красноярского края в рамках АЗРФ	2	0	0	2	1	1	0	1	0	1	1	2	2	0	0	1	1
Районы Республики Саха в рамках АЗРФ	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Чукотский авт. округ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Условные обозначения: 0 – загрязнение отсутствует или незначительное;

1 – загрязнение охватывает менее 20% озер, выражено некатастрофично;

2 – загрязнение охватывает от 20% до 50% озер, имеет значительные последствия;

3 – загрязнение охватывает более половины водных объектов, опасное

Представленная таблица являет собой результат обобщения современной лимнологической литературы, проведённого автором в рамках составления монографий по озёрам России [4-6]. Она свидетельствует, что в настоящее время наибольшее загрязнение испытывают озёра наиболее экономически развитых районов Арктики – Мурманской области, Ямало-Ненецкого и Ненецкого авт. округов, входящих в АЗРФ части Республика Коми и севера Красноярского края (прежде всего территории, расположенные в зоне влияния ГМК Норильский никель). Наименее загрязнёнными остаются водоёмы восточной части АЗРФ.

В силу повышенной чувствительности арктических водоёмов к антропогенной нагрузке, существующее положение вещей вызывает опасения, обостряющееся в свете грандиозных планов развития АЗРФ. Необходимо отметить, что в силу труднодоступности арктических озёр большинство из них являются лимнологически неизученными, что не даёт возможности принимать необходимые упреждающие меры по их охране и рациональному использованию. Ситуация несколько лучше на европейском северо-западе, активное освоение которого с самых ранних этапов сопровождалось проведением обширных гидрологических изысканий. Как результат, к сегодняшнему дню на целом ряде озёр Кольского полуострова и севера Республики Карелия ведутся периодические наблюдения, а по большинству крупных водоёмов наряду с современными наличествуют и качественные ретроспективные данные. В то же время, на остальной части АЗРФ лимнологические работы проводятся редко и охватывают лишь очень небольшое количество водоёмов. Согласно приближённой оценке, даже среди водоёмов, превышающих по площади зеркала 1 км^2, в пределах АЗРФ хоть как-то изучено (то есть имеются какие-либо данные измерений) лишь чуть более 5%. Имеющиеся разрозненные данные, накопленные на протяжении XX и XXI, с одной стороны позволяют получить общие представления о происходящих в арктических водоёмах процессах, в том числе связанных с

антропогенной деятельностью, но, с другой – крайне недостаточны для того, чтобы эти процессы до конца осмыслить и, в условиях активного освоения Арктической зоны, обеспечить поддержание необходимого качества озёрных вод, используемых для питьевого водоснабжения и рыболовства.

Планируемое регулярное повышение доли внутренних затрат на научные исследования в Арктике и инвестиций в основной капитал, направленный на охрану и рациональное использование природных ресурсов [1], позволяют надеяться на расширение работ по комплексному изучению лимнологии водоёмов, входящих в озёрный фонд АЗРФ; создание сети мониторинговых наблюдений, позволяющей отслеживать негативные изменения, происходящие с озёрным фондом и качеством озёрных вод в районах активного освоения; развитие сети ООПТ – особо охраняемых природных территорий и акваторий, обеспечивающих сохранение экологических систем АЗРФ, объектов животного и растительного мира Арктики, включая охрану редких и находящихся под угрозой исчезновения видов и их адаптацию к изменениям климата. Однако, это требует консолидированного решения научной общественности, поддерживающей данное направление исследований и готовой сформулировать первостепенные задачи, решение которых будет направлено на обеспечение необходимого качества поверхностных вод, используемых в пределах АЗРФ на различные нужды.

Литература

1. Государственная Программа Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации" // Утверждена постановлением Правительства от 21 апреля 2014 года №366. (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 31 августа 2017 г. № 1064) http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm 139 с.

2. Измайлова А.В. Водные ресурсы озёр Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2016. №4. С. 5-14.

3. Румянцев В.А., Измайлова А.В., Крюков Л.Н. Состояние водных ресурсов озёр Арктической зоны Российской Федерации // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64, № 1. С. 84-100.

4. Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера европейской части России. СПБ.: Изд-во Лема, 2015. 392 с.

Румянцев В.А., Драбкова В.Г., Измайлова А.В. Озера азиатской части России. СПБ.: Свое издательство, 2017. 480

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Исаев Д.И.
РГГМУ , СПб, РФ

HYDROLOGICAL SUPPORT OF DREDGING WORKS

Isaev D.I.
RSHU, Sankt-Petersburg. RF

Приводится опыт гидрологического обеспечения дноуглубительных работ. Особое внимание уделяется проблемам, возникающим в ходе работ, связанным с нормативной и приборной базой.

Часто возникает необходимость в проведении дноуглубительных работ как для улучшения условий судоходства на водных путях, нормальной эксплуатации гидротехнических сооружений, так и в целях санации водоемов.

Наряду с работами по углублению дна проводятся также и работы, в результате которых осуществляется очистка водоемов от загрязнений.

Дноуглубительные работы – разновидность земляных работ, производимых под водой на дне водоема с целью создания или углубления существующих подходных водных путей к портам, строительства причалов, мостов и других гидротехнических сооружений, прокладывания под водой трубопровода, а также для расширения и увеличения глубины водоемов.

Дноочистительные работы – разновидность работ, которые проводятся для удаления подводных препятствий на реках, озерах и иных водоемах для обеспечения судоходства.

Проведение данных видов работ, как правило, связано с изменением дна, берегов водного объекта, расчисткой русла реки и регулируется нормами водного законодательства, законодательства в области охраны окружающей среды и законодательства о градостроительной деятельности.

При выполнении дноуглубительных и дноочистительных работ на реках и озерах исполнители данного вида работ призваны руководствоваться следующими нормативными документами:

- СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения;
- СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства;
-РД 31.74.04-2002. Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин;
- Инструкцией по промеру на реках, ИПР-77;
- Инструкцией о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ. ГКИНП (ГНТА) 17-004-99;
- Правилами гидрографической службы № 4. Съемка рельефа дна судоходных морских и речных акваторий

Названые нормативные документы представляют собой перечень нормативных актов, требования которых, в первую очередь, направлены на обеспечение навигационных правил морского и речного флота.

В тоже время в документах не в полной мере учтены особенности проектирования и выполнения очистных работ на реках, озерах и прудах, которые проводятся с целью санации этих водоемов, обеспечения их экологической безопасности.

При проведении дноуглубления и дноочистки на небольших озерах и прудах существуют проблемы с понятием проектной глубины. Как правило, в связи с тем, что отсутствует научно-обоснованный критерий определения проектной глубины, такая глубина назначается произвольно. При этом не учитывается происхождение котловины водоема, условия его питания, осадконакопления и формирования высшей водной растительности.

Нормативные акты не устанавливают точных сроков для выполнения промерных работ в целях предварительного расчета объемов вынимаемого грунта. Полагаем, что при высокой степени заносимости водоема время выполнения предварительных промеров должно быть максимально приближено к началу выполнения работ.

Для определения объемов вынутого грунта нормативные акты требуют использовать результаты детальных промеров с применением эхолота. На практике такие промеры, как правило, проводят сразу по окончании дноуглубительных работ. Следует отметить, что на озерах и прудах процесс осаждения взмученной фракции наносов и илов имеет свойство затягиваться на довольно продолжительное время. (см.рис.1)

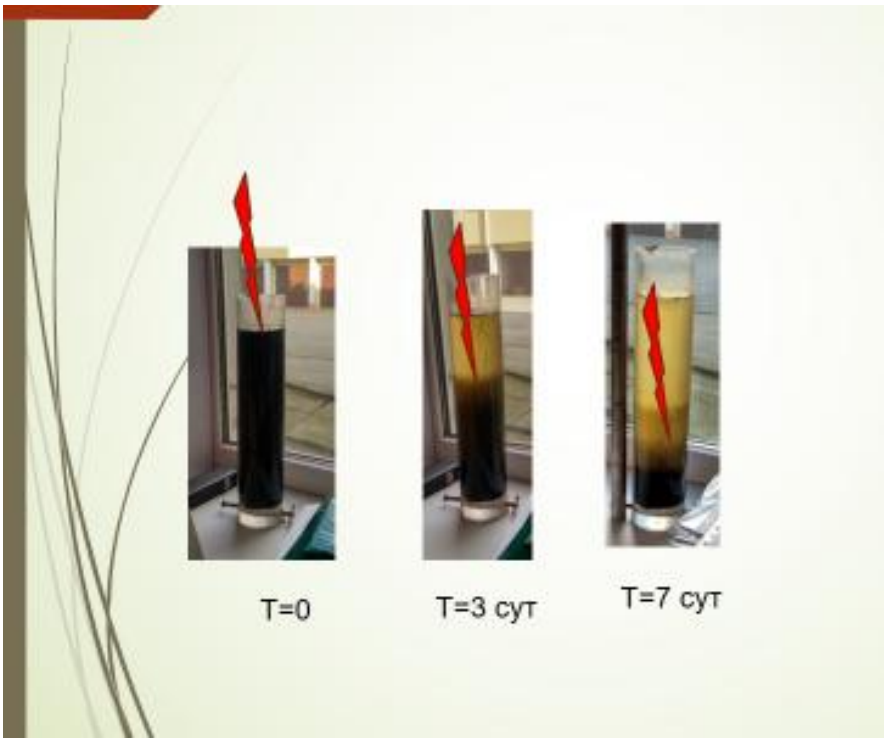


Рисунок 1. Показан ход осаждения илов в лабораторных условиях. Столб воды 40 см.

В этом случае показания эхолота будут меняться как во времени, так и по акватории водоема, что, в свою очередь приведет к искажению данных по объему выполненных работ.

Такое положение возможно в связи с отсутствием методики оценки вынутого грунта в условиях его неплотного сложения.

Отсутствие четких критериев и законодательных требований приводит к тому, что при проектировании работ по дноуглублению и дноочистке, в проектах:

- не определяются условия поступления в водоем жидкого и твердого стока, источники загрязнения антропогенного и естественного происхождения,

- не дается оценка возможных изменений водного баланса водоема в результате дноуглубления водоема и производства технологических работ на его водосборе,
- не оценивается интенсивность осадконакопления в водоеме,
- не дается прогноз возможных межремонтных сроков,
- не учитывается эффект сползания органических илов по наклонной поверхности берегового участка, что особенно заметно на малых водоемах.
- проектный профиль назначается без учета типа руслового процесса и без анализа движения мезоформ в русле реки.
- не учитывается факт движения наносов и не рассчитывается их сток.
- не определяются межремонтные сроки дноуглубительных работ.

Недоучет этих особенностей приводит к возникновению конфликтных ситуаций во взаимоотношениях заказчиков и исполнителей дноуглубительных работ. Необходимо разработать нормативные документы, позволяющие сделать этапы проектирования и непосредственного выполнения дноочистных работ максимально прозрачными и научно обоснованными.

КОМПАКТНАЯ МАСШТАБИРУЕМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КРАТКОСРОЧНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ЕЁ РАБОТА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ТИХВИНКИ (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Казаков, Э.Э. Журавлёв С.А., Шеманаев К.В.
Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

COMPACT SCALABLE AUTOMATED SYSTEM FOR SHORT-TERM HYDROLOGICAL FORECASTING AND ITS OPERATION ON THE EXAMPLE OF THE TIKHVINKA RIVER (LENINGRAD REGION)

Kazakov E.E., Zhuravlev S.A., Shemanaev K.V.
State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

Представлена автоматизированная система краткосрочного гидрологического прогнозирования, реализованная в виде серверного приложения с графическим веб-интерфейсом и программным интерфейсом (API).

An automated system for short-term hydrological forecasting implemented as a server application with a graphical web interface and a software interface (API) is presented.

В затапливаемых районах в России и по всему миру по-прежнему проживает множество людей, размещаются рекреационные, производственные, сельскохозяйственные и другие предприятия. Важной задачей остаётся эффективное предупреждение неблагоприятных и опасных гидрологических явлений, то есть заблаговременное прогнозирование критического подъёма уровня воды. Для её решения применяются различные методы гидрологического прогнозирования, основанные как на установлении статистических закономерностей, так и моделирующие непосредственно физические процессы на водосборе. Среди всего многообразия таких методов выделяются концептуальные модели, являющиеся своего рода компромиссом между глубиной физических моделей и простотой статистических - они не предъявляют чрезмерных требований к качеству и составу исходных данных, но являются более предсказуемыми и пригодными к интерпретациям, чем статистические.

В рамках представленной работы создаётся автоматизированная система краткосрочного прогнозирования, к которой предъявляются следующие требования: использование концептуальных моделей с открытым исходным кодом, и, как следствие, несложная настройка на основе архивов ретроспективной гидрологический и метеорологической информации, компактность, то есть быстрая развёртываемость в любой серверной инфраструктуре, а также масштабируемость, то есть возможность оперативно подключать к ней новые гидрологические посты. В качестве объекта для первоначального включения в систему выбраны створы р. Тихвинка – п. Горелуха и р. Тихвинка – г. Тихвин. Наличие подобной системы прогнозирования для города Тихвин актуально: практически ежегодно в городе весной случаются затопления разного масштаба.

Необходимые данные (оперативные по уровням воды, архивные по уровням и расходам воды, архивные и ежедневный прогноз метеорологических параметров по модели WRF) предоставляются ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» по сети интернет с помощью специализированных сервисов. Гидрологической основой системы стали модели HBV [1], SimHYD [2] и GR4J [3], реализованные на языке программирования Python, широко

известные и применяемые в разных районах планеты. Калибровка моделей осуществляется автоматически на основе массива архивных данных по авторскому автоматизированному алгоритму.

Технически система разработана как серверное Linux-приложение, реализованное на языке Python и основанное на наборе компонентов Flask с компактной однофайловой системой управления базами данных (СУБД) SQLite с привлечением большого количества специализированных библиотек: sqlalchemy, scipy, gdal и других. Использование SQLite позволяет обеспечить компактность и переносимость системы в совокупности с мощным инструментарием языка SQL.

Программа прогноза запускается один раз в сутки и осуществляет следующую цепочку операций: получение последнего утреннего наблюденного уровня воды, температуры и количества осадков для каждого поста; получение и обработку метеорологического прогноза; подготовка полной доступной истории (включая новые полученные данные) гидрологических и метеорологических данных для гидропоста; расчёт расходов воды на основе этой истории; пересчёт расходов в уровни; вычисление ошибок прогнозирования; запись в СУБД всех новых сведений. Все данные, записанные в СУБД, готовы к предоставлению в пользовательские интерфейсы и любые другие клиентские приложения.

Пользовательский интерфейс представлен интернет-порталом, состоящим из двух блоков. Первый блок позволяет выбрать гидрологический пост из перечня тех, на которых производится краткосрочное гидрологическое прогнозирование (рис. 1). В этой части портала доступны фильтры по имени и по региону, которые обеспечат удобство поиска и навигации при увеличении охвата системы.

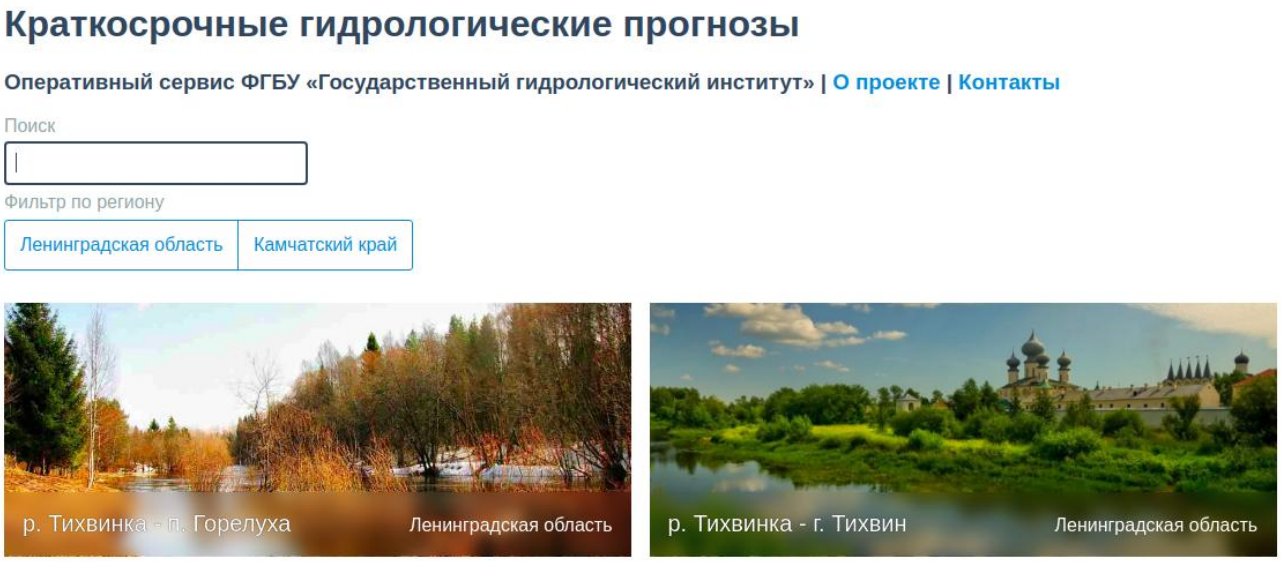


Рис. 1. Интерфейс навигационного блока системы

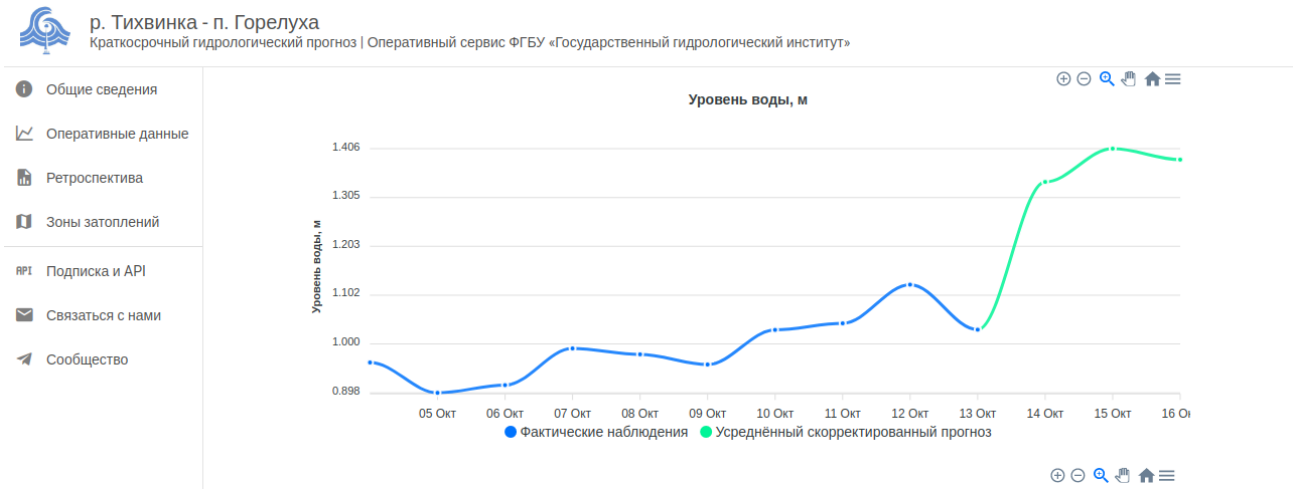


Рис. 2. Фрагмент интерфейса вкладки “Оперативные данные”

При выборе одного из гидрологических постов открывается унифицированный интерфейс, содержащий детальную информацию о доступных наблюдениях и прогнозах. На вкладке “общие сведения” приводится интерактивная карта с визуализацией положения гидропоста и его водосборного бассейна, а также общая информация. На вкладке “Оперативные данные” (рис. 2) в формате интерактивных графиков приводятся сведения о последних наблюденных (за 7 суток) значениях уровня воды, температуры воздуха и количества осадков, а также о прогнозах на 3 ближайших суток. Здесь приводится усредненный для всех моделей прогноз, ошибка которого линейно скорректирована по последней доступной дате фактического наблюдения.

На вкладке “Ретроспектива” на интерактивных графиках предоставляется подробная информация о динамике уровня воды, температуры воздуха и количества осадков за последние 365 суток, с возможностью отдельно или совместно визуализировать данные, полученные фактически и по каждой из моделей с разной заблаговременностью (рис. 3).

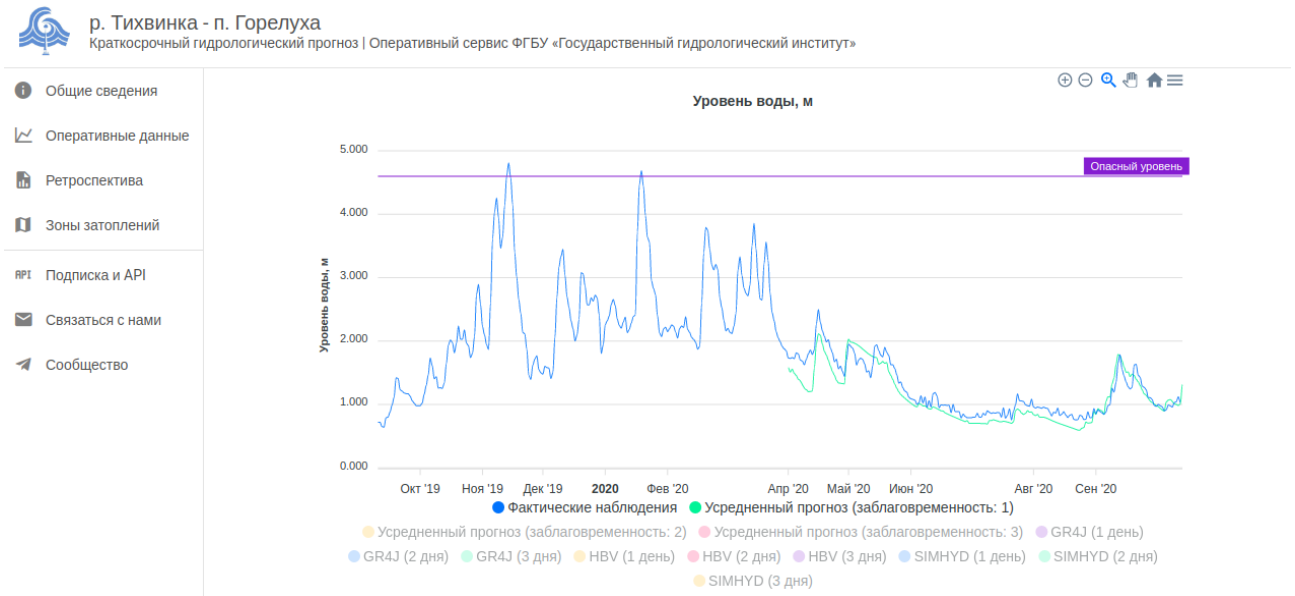


Рис. 3. Фрагмент интерфейса вкладки “Ретроспектива”

На вкладке “Зоны затоплений” на интерактивной карте визуализируются потенциальные зоны затоплений, моделируемые с учётом рельефа и уклона водной поверхности по данным прогнозов уровня воды. На вкладке “Подписка и API” любой пользователь может подписаться на ежедневные почтовые уведомления о результатах гидрологических прогнозов, а также получить сведения о публичном программном интерфейсе, который позволяет с помощью HTTP-запроса без авторизации получать информацию о фактических и прогностических значениях уровня воды на выбранном гидрологическом посте.

На момент публикации доступ к пользовательскому интерфейсу системы краткосрочного гидрологического прогнозирования осуществляется (в тестовом режиме) по адресу http://185.204.0.167:8050/

Система осуществляет прогнозирование уровня воды для гидропостов р. Тихвинка - г. Тихвин и р. Тихвинка - п. Горелуха в тестовом режиме начиная с 1 апреля 2020 года. Эффективность прогнозов по критерию Нэша-Сэтклифа превышает 0.8, что представляется отличным результатом, однако наиболее важные испытания предстоят в будущем, в периоды половодий и паводков.

Литература

1. Lindström G, Johansson B, Persson M, Gardelin M, Bergström S Development and test of the distributed HBV-96 hydrological model // Journal of hydrology. — 1997. — Т. 201. — № 1. — p. 272-288.
2. Chiew, F. H., Peel, M. C., Western, A. W. Application and testing of the simple rainfall-runoff model SIMHYD // Mathematical models of small watershed hydrology and applications. — 2002. — p. 335-367.
3. Perrin C., Michel C., Andreassian V. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation // Journal of hydrology. — 2003. — Т. 279. — №. 4. — p. 275-289.

СТОК СЕЛЕНГИ В XXI ВЕКЕ

Калугин А.С.
Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

THE SELENGA RIVER RUNOFF IN THE XXI CENTURY

Kalugin A.S.
Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

На основе расчетов по модели формирования стока с использованием данных глобальных климатических моделей проведена оценка внутригодовых изменений стока, а также экстремально высокого и низкого стока Селенги в течение XXI века.

The assessment of intra-annual runoff changes, as well as extremely high and low runoff of the Selenga River during the 21st century was carried out on the basis of calculations by the runoff formation model using data from global circulation models.

Исследование проведено для бассейна Селенги, расположенного в аридной климатической зоне. Селенга с площадью водосбора 447000 км^2 является основным притоком озера Байкал. Для рек бассейна характерно в основном дождевое питание в летний период.

Оценка изменений водного режима Селенги проведена на основе расчетов по гидрологической модели с использованием данных глобальных моделей климата. На базе комплекса ECOMAG была построена модель формирования стока, которая учитывает все основные процессы гидрологического цикла с суточным шагом по времени. Ранее модель р. Селенги была разработана на основе глобальных баз данных о подстилающей поверхности [1]. Затем гидрологическая модель была откалибрована с применением более точного глобального метеорологического реанализа EWEMBI разрешения 0.5º (данные по температуре и влажности воздуха, атмосферным осадкам), подготовленного Потсдамским институтом климатических исследований на основе реанализа ERA-Interim [2].

Поскольку климатические модели ориентированы на воспроизведение метеовеличин за большие временные интервалы, ниже представлены результаты соответствия рассчитанных среднемесячных и среднегодовых значений расходов воды фактическим по модели формирования стока в бассейне Селенги с использованием критериев Нэш-Сатклифа (NSE) и относительной ошибки расчета среднемноголетнего стока (BIAS). Калибровка параметров модели бассейна Селенги проводилась для периода 1984–1993 гг., а верификация – 1994–2003 гг. Значения критериев для замыкающего створа составили по NSE 0.88 и 0.86, BIAS 9% и –8.6% для выше указанных периодов соответственно.

Для оценки гидрологических последствий изменения климата в рассматриваемых бассейнах привлечены данные о приземных полях метеорологических характеристик, рассчитанных по ансамблю глобальных климатических моделей CMIP5 по результатам проекта ISIMIP за исторический период, а также проекции климата до конца XXI века при сценариях RCP 2.6 и RCP 6.0. Данные подготовлены путем приведения первичных расчетных среднесуточных метеоданных ансамбля из 4-х моделей климата (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM) за исторический период к данным реанализа EWEMBI.

Для бассейна Селенги за базовый исторический период был выбран 1981–2005 гг. Погрешность расчета среднемноголетнего стока Селенги по данным реанализа за указанный период составила 2.9% по сравнению с наблюденным. Отмечено завышение

нормы зимнего стока и занижение весеннего стока. Сезонный ход температуры воздуха воспроизводится климатическими моделями наиболее точно, среднемноголетняя сумма осадков завышена на 9% в мае и занижена на 5% в июле, сентябре, а величина дефицита влажности воздуха завышена в наиболее теплые месяцы (июль, август) на 4%.

На следующем этапе рассчитанные по 4-м климатическим моделям ряды среднесуточных метеорологических величин за исторический период задавались в качестве входных данных в модель формирования стока. Рассчитанные характеристики годового и сезонного стока сравнивались с полученными ранее по данным реанализа. Для бассейна Селенги отмечено завышение стока по моделям климата в июне на 16% и занижение с августа по октябрь на 10%. В отличие от указанных погрешностей расчета сезонного стока, результаты оценки нормы годового стока с использованием данных климатических моделей за базовый период оказались точнее. Относительная погрешность расчета стока по данным ансамбля глобальных моделей климата составила –5%.

Затем были оценены среднеансамблевые аномалии среднегодовой и сезонной температуры воздуха и суммы осадков для территории бассейна Селенги в течение XXI века относительно величин, определенных за исторический базовый период. Расчеты были проведены по каждой из 4-х моделей, после чего проводилось усреднение по ансамблю для каждого RCP-сценария и 30-летнего периода, соответствующего середине (2036–2065 гг.) и концу (2070–2099 гг.) XXI века. В итоге отмечен рост как среднегодовой, так и сезонной температуры воздуха, а также увеличение годовой и сезонной суммы атмосферных осадков. Согласно сценарию RCP 2.6 в XXI веке, а также по RCP 6.0 к середине столетия рост среднегодовой температуры воздуха в бассейне Селенги составит 1.7–1.8ºС; по RCP 6.0 к концу XXI века – 3.3ºС. Увеличение годовой суммы осадков составит 7–9% в течение столетия по обоим сценариям.

Оценка климатически обусловленных аномалий среднегодового и сезонного стока Селенги в середине и конце XXI века относительно исторического периода показала следующие результаты. Согласно сценарию RCP 2.6 к середине XXI века увеличение среднемноголетнего стока Селенги составит 10%, а к его концу 25%; по RCP 6.0 – 6% и 2%. Летне-осенний и зимний сток Селенги имеет положительную динамику по двум сценариям и периодам, за исключением летне-осеннего стока по RCP 6.0 в конце столетия. Оценивая разницу в изменениях стока рек между RCP-сценариями, можно отметить значительное увеличение аномалий летне-осеннего и зимнего стока по RCP 2.6 в течение столетия и особенно ярко выражено к его концу.

Оценка временного хода аномалий годового и сезонного стока Селенги в течение XXI века относительно исторического периода **по построенным 30-летним скользящим средним проекций** изменения стока для разных RCP-сценариев показала следующие результаты **(рис. 1).**

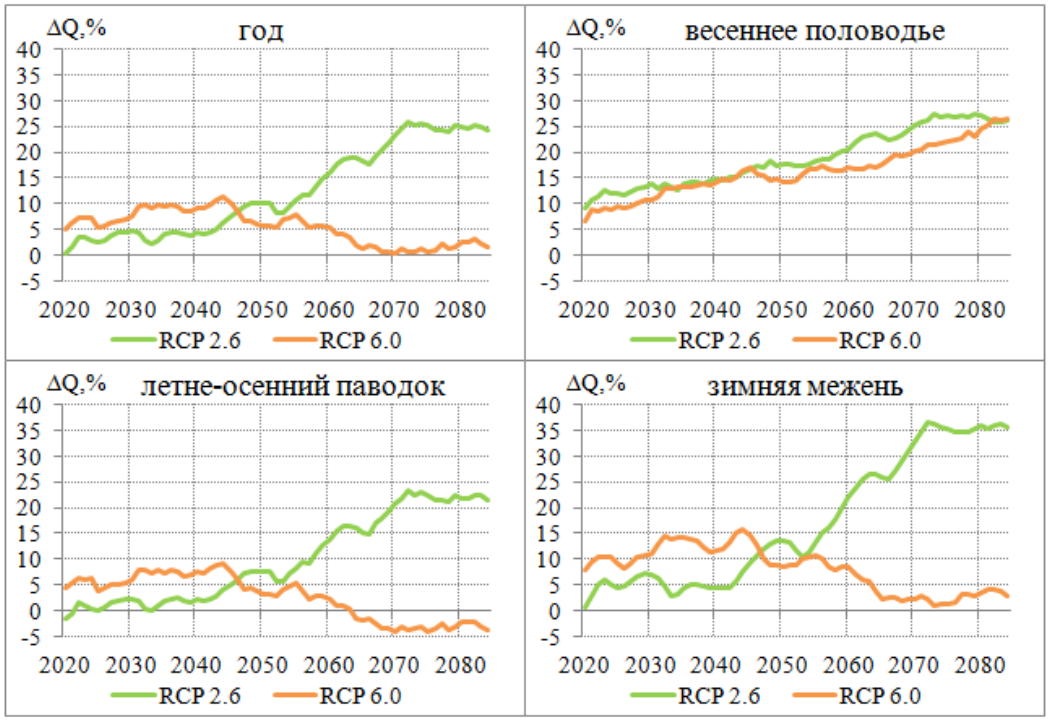


Рис. 1. Тридцатилетнее скользящее среднее изменения (в %) годового и сезонного стока Селенги в XXI веке при реализации сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0 относительно исторического периода.

В первой половине XXI века среднемноголетний сток Селенги увеличивается по двум сценариям, а затем изменения разнонаправлены: сток по сценарию RCP 2.6 интенсивно растет, в то время как по сценарию RCP 6.0 сокращается. Во многом это объясняется схожими тенденциями изменения водности Селенги за период летне-осенних паводков и зимней межени. Для весеннего стока Селенги отмечен рост в течение столетия по обоим сценариям примерно с одной скоростью, причем величины по сценарию RCP 2.6 на несколько процентов больше.

Сравнение среднесуточного стока различной повторяемости показало, что по высокому стоку (Q_{10}) на Селенге ожидается увеличение на 10–25% по сценарию RCP 2.6, на 6% по RCP 6.0 к середине столетия и уменьшение к его концу на 1% (рис. 2). По низкому стоку (Q_{90}) ожидается увеличение на 7–42% в зависимости от сценария и периода XXI века.

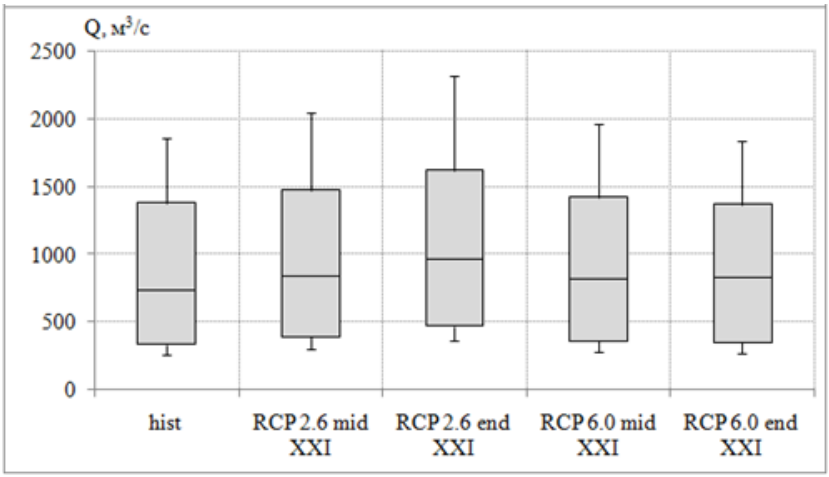


Рис. 2. Среднесуточный сток Селенги различной повторяемости (Q_{10}, Q_{25}, Q_{50}, Q_{75}, Q_{90}) за исторический период и в середине / конце XXI века при реализации сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0.

Частота событий высокого стока Селенги существенно возрастет к концу XXI века по сценарию RCP 2.6 как для годового стока, так и для всех фаз водного режима, а по RCP 6.0 для весеннего половодья. Частота событий низкого стока уменьшится для годового и летне-осеннего стока по сценарию RCP 2.6 в течение XXI века, для весеннего стока по сценарию RCP 2.6 по двум периодам XXI века, по RCP 6.0 к концу столетия, для зимнего стока по обоим RCP-сценариям и периодам.

Полученные результаты расчетов высокого и низкого показывают, что вероятность событий многоводных лет и наводнений на Селенге возрастет, в то время как вероятность маловодных лет и гидрологических засух уменьшится.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации для молодых кандидатов наук МК-1753.2020.5.

Литература

1. Морейдо В.М., Калугин А.С. Оценка возможных изменений водного режима реки Селенги в XXI веке на основе модели формирования стока // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 275–284.
2. Frieler K., Lange S., Piontek F., Reyer C.P.O., Schewe J., Warszawski L. Assessing the impacts of 1.5°C global warming – simulation protocol of the inter-sectoral impact model intercomparison project (ISIMIP2b) // Geosci. Model Dev. 2017. Vol. 10. No. 12. P. 4321–4345.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА ВОЛГИ

Калугин А.С.
Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия

MODELLING OF THE VOLGA RIVER RUNOFF

Kalugin A.S.
Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Получены удовлетворительные результаты пространственного тестирования модели формирования стока в бассейне Волги за многолетний период с суточным шагом на основе данных глобальных баз о подстилающей поверхности и сети метеостанций.

Satisfactory results of spatial testing of the runoff formation model in the Volga basin for a long-term period with a daily step based on data from global surface databases and meteorological stations were obtained.

Разработка гидрологической модели Волги – чрезвычайно сложная задача, связанная как с высокой природной изменчивостью условий формирования стока в разных частях бассейна, так и со всевозможной антропогенной освоенностью водосбора. Ранее было несколько весьма успешных попыток создания воднобалансовых моделей для Волжского бассейна. Это, прежде всего, модели Государственного гидрологического института с декадным временным шагом [1] и Института географии РАН с месячным интервалом [2]. Однако такие модели используют упрощенное описание многих процессов гидрологического цикла.

Вместе с тем, известна детальная как по пространству, так и по временному шагу физико-математическая модель формирования стока, разработанная на основе комплекса ECOMAG, которая с начала 2000-х годов используется для расчетов весеннего притока воды к водохранилищам Волжско-Камского каскада в структурах Федерального агентства водных ресурсов [3]. При этом модель настроена для водосборов отдельных водохранилищ со своим набором параметров при использовании отечественных баз данных о подстилающей поверхности и гидрометеорологического мониторинга. В рамках расчета для всего бассейна Волги указанная модель воспроизводит пространственное распределение запасов воды в снежном покрове и влагозапасов верхнего слоя почвы, однако с этим набором параметров смоделированный сток недостаточно точно соответствует наблюденному в различных створах речной сети.

В связи с этим в данном исследовании был сделан акцент на построении модели формирования стока, которая позволит эффективно рассчитывать речной сток в разных частях Волжского бассейна в формате единого прогона для всего водосбора. Модель была построена на базе комплекса ECOMAG и в отличие от указанной в работе [3] имеет принципиально другую основу. Исходной информацией для модели послужили глобальные базы данных о подстилающей поверхности (почвенная база Harmonized World Soil Database и ландшафтная база Global Land Cover Characterization), среднесуточные данные сети мониторинга за температурой и влажностью воздуха, количеством атмосферных осадков на 306 метеостанциях. Разработанная модель формирования речного стока в бассейне Волги с пространственным разрешением, равным размеру элементарных водосборов (1760 км^2), описывает основные процессы гидрологического цикла суши: формирование снежного покрова и снеготаяние, инфильтрацию воды в почву и испарение, термический и водный режим почвы с

учетом процессов ее промерзания и оттаивания, формирование склонового, внутрипочвенного и грунтового стока, движения воды по русловой сети.

Вследствие зарегулированности стока Волжско-Камским каскадом водохранилищ верификация модели выполнялась путем сравнения фактических и рассчитанных среднесуточных расходов воды в замыкающих створах основных притоков Волги и Камы за многолетний период. Такой подход пространственной калибровки гидрологической модели, в отличие от калибровки для каждого створа, позволяет в рамках единого расчета учесть особенности формирования стока в различных частях бассейна. Количественная оценка точности расчетов речного стока проводилась с применением критериев Нэша-Сатклифа NSE и систематической погрешности BIAS. Результаты соответствуют градации хороших при сочетании $NSE > 0.7$ и $|BIAS| < 10\%$, удовлетворительных – при $0.5 < NSE \le 0.7$, $|BIAS| \le 15\%$.

Калибровка параметров модели проводилась для периода 2000–2014 гг., верификация – на независимом материале за период 1986–1999 гг. с суточным шагом. В рамках единой модели оценивались расчеты стока в замыкающих створах основных (свыше 1% от площади водосбора и 1% водности Волги) притоков Волги и Камы: Ока, Вятка, Белая, Сура, Ветлуга, Унжа; а также для Верхней Волги в створе с. Старица и Верхней Камы как приток к Камскому водохранилищу. Площадь водосбора рек в замыкающих створах составляет от 18.5 до 244 тыс. км^2. Общая водность Волги оценивалась как приток воды к Куйбышевскому водохранилищу – крупнейшему в системе Волжско-Камского каскада с суммарной площадью водосбора почти 90% от площади бассейна Волги. Водность притоков Волги ниже Жигулевской ГЭС существенно меньше указанных выше, и в среднемноголетнем разрезе может быть грубо оценена соответствующей безвозвратным потерям на водопотребление и испарение в пределах водосборов Саратовского и Волгоградского водохранилищ. Среднемноголетний за последние 30 лет среднесуточный фактический приток воды в Куйбышевское водохранилище составил около 8000 м^3/с, что хорошо соотносится со среднемноголетней величиной стока Волги в створе Волгограда около 250 км^3/год. Этот факт подтверждает правомерность указанного выше подхода к оценке стока Волги. В таблице 1 приведены результаты проверки точности расчета стока в различных речных створах в бассейне Волги за период калибровки и верификации модели, а также за общий период 1986–2014 гг.

Таблица 1. Значения статистических критериев соответствия наблюденных и смоделированных гидрографов в створах рек в бассейне Волги за период калибровки, верификации и общий *

Река – створ	F, тыс. км^2	1986–1999		2000–2014		1986–2014	
		NSE	BIAS, %	NSE	BIAS, %	NSE	BIAS, %
Ока – Горбатов	244	0.73	6.4	0.75	–6.6	0.74	–0.4
Вятка – Вятские Поляны	124	0.84	–3.1	0.89	–1.6	0.86	–2.4
Белая – Бирск	121	0.87	–12.8	0.86	–12.3	0.86	–12.6
Камское вдхр	168	0.94	–7.1	0.93	–3.8	0.93	–5.5
Сура – Порецкое	50.1	0.50	9.8	0.59	–14.8	0.57	–4.1
Ветлуга – Ветлужский	27.5	0.86	1.0	0.87	5.7	0.86	3.3
Волга – Старица	21.1	0.66	11.7	0.67	3.7	0.66	7.6
Унжа – Макарьев	18.5	0.74	–0.5	0.72	1.0	0.73	0.2
Куйбышевское вдхр	1210	0.88	3.7	0.87	0.8	0.89	2.2

* для Куйбышевского водохранилища вместо NSE по среднесуточным гидрографам приведены значения коэффициента корреляции годового притока воды

Значения статистических критериев свидетельствуют об устойчивости модельных расчетов при переходе от одного периода к другому и практически для всех соответствуют градации хороших (NSE > 0.7, |BIAS| < 10%), за исключением удовлетворительных величин по NSE для Суры и Верхней Волги, по BIAS для Белой и Суры.

Коэффициент корреляции между фактическим и смоделированным годовым притоком воды в Куйбышевское водохранилище за период 1986–2014 гг. составил 0.89 при систематической погрешности около 2%. Суммарная площадь восьми частей Волжского бассейна, для которых приведены расчеты стока, равна 2/3 от площади водосбора Куйбышевского водохранилища, а суммарная водность рек в этих створах – 3/4 от притока воды в Куйбышевское водохранилище. При этом погрешность расчета суммарного среднемноголетнего за период 1986–2014 гг. стока в указанных восьми створах рек оказалась менее 4%.

Для того чтобы дополнительно оценить точность расчета общего стока Волги, помимо сравнения с притоком воды к Куйбышевскому водохранилищу, был проведен следующий численный эксперимент. В качестве граничных условий модели в восьми рассмотренных выше речных створах задавались фактические среднесуточные расходы, а с остальной площади бассейна сток рассчитывался по метеоданным с теми же параметрами модели, которые были определены за период ее калибровки. Такой рассчитанный среднесуточный «восстановленный» сток Волги составил 8090 $м^3/с$. Затем этот ряд сравнивался с рассчитанным ранее по метеоданным для всего водосбора стоком Волги в створе Жигулевской ГЭС за период 1986–2014 гг. (рис. 1).

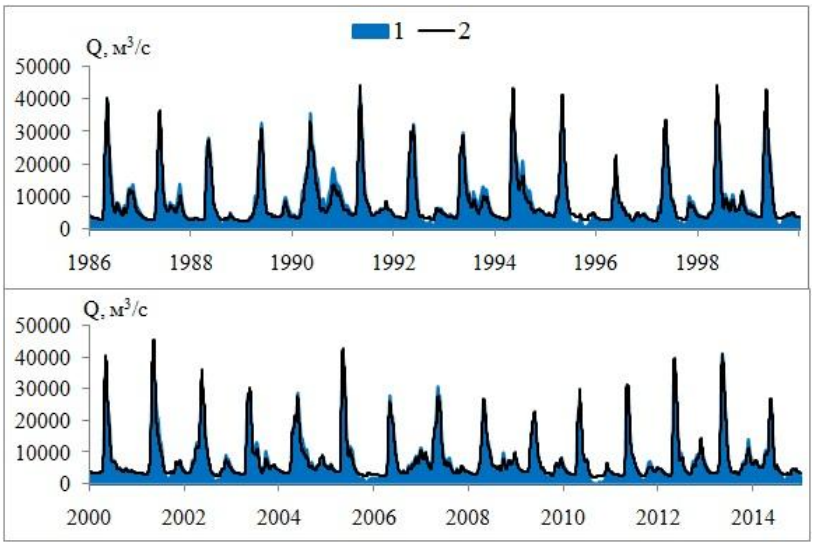


Рис. 1. Рассчитанный сток Волги при граничных условиях модели в виде метеоданных для всего бассейна (1) и рассчитанный («восстановленный») сток Волги при задании в качестве граничных условий модели в восьми рассмотренных выше речных створах фактических среднесуточных расходов воды и в виде метеоданных с остальной площади бассейна (2).

Критерии соответствия двух наборов рассчитанного стока Волги – (1) рассчитанный («восстановленный») сток при задании в качестве граничных условий модели в восьми рассмотренных выше речных створах фактических среднесуточных расходов воды и в виде метеоданных с остальной площади бассейна, (2) рассчитанный сток при

граничных условиях модели в виде метеоданных для всего бассейна – оказались высоки: критерий NSE по среднесуточным гидрографам 0.96, среднемноголетняя систематическая погрешность расчета стока 1.1%, коэффициент корреляции годового стока 0.93.

Таким образом, полученные результаты пространственного (для различных створов) тестирования модели за различные многолетние календарные периоды, а также расчета общего стока Волги по критериям Нэша-Сатклифа и систематической ошибки позволяют заключить, что разработанная модель удовлетворительно воспроизводит среднесуточный сток Волги и основных рек ее бассейна.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке грантом Российского научного фонда № 20-77-00077.

Литература

1. Георгиевский В.Ю., Шалыгин А.Л. Гидрологический режим и водные ресурсы // В кн. под ред. Семенова С.М. Методы оценки изменения климата для физических и биологических систем. М.: НИЦ «Планета», 2012. С. 53–87.
2. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: ООО «МАКС Пресс», 2014. 214 с.

Мотовилов Ю.Г. Гидрологическое моделирование речных бассейнов в различных пространственных масштабах. 2. Результаты испытаний // Водные ресурсы. 2016. Т. 43. № 5. С. 243–253

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД НА ВРЕМЕННУЮ ДИНАМИКУ КИСЛОРОДА, ХЛОРОФИЛЛА-А И КАЖУЩЕГОСЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Костылева А.В,. Мошаров С.А
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, г. Москва, РФ

EFFECT OF THE THERMOHALINE STRATIFICATION SEASONAL CHANGE ON THE DYNAMICS OF OXYGEN, CHLOROPHYLL-A, AND APPARENT OXYGEN UTILISATION IN THE EUPHOTIC LAYER OF THE NORTH-EASTERN BLACK SEA

Kostyleva A.V., Mosharov S.A.
Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Представлены результаты измерений, проведенных на кросс-шельфовом разрезе в районе Геленджика в Черном море в 2012 г. Показано, что максимум содержания O_2 обычно наблюдается в или под термоклином, максимум AOU – над термоклином. Chl-a в меньшей степени зависит от термохалинной стратификации, и его максимум чаще находится на глубине 10-20 м.

This presentation concerns with analysis of the multidisciplinary data along a cross-shelf section in the Gelendzhik region of the Black Sea in 2012. It is found that themaximum of oxygen concentration is usually located in or under the thermocline while the AOU maximum is above the thermocline. Chl-a is less dependent on thermohaline stratification, and its maximum is more often found at the depths of 10-20 m.

Работа основана на анализе данных измерений растворенного кислорода и хлорофилла-а (Chl-a), а также оценивания кажущегося потребления кислорода (AOU) на 5-ти мильном разрезе поперечном шельфу в районе Голубой бухты (г. Геленджик) в 2012 г с апреля по ноябрь включительно. Отбор проб проводился при помощи CTD-зонда SBE 19plus и пятилитровых батометров Нискина. В точке с глубиной 10 м пробы отбирались с поверхности. На 25 м – с горизонтов 0, 10 м и у дна. На 50 м – с горизонтов 0, 10, 20, 30 м и у дна. На 100 м – с горизонтов 0, 10, 20, 30 и 50 м. На 500 м – с горизонтов 0, 10, 20, 30, 50 и 70 м.

Определение хлорофилла-а в морской воде проводилось с использованием стандартного флюориметрического метода [1] на флюориметре МЕГА-25 (производство кафедры биофизики МГУ им. М.В. Ломоносова). Кислород определялся методом Винклера. Кажущееся потребление кислорода (AOU) определялось как разница между концентрацией кислорода в состоянии равновесия с атмосферой при температуре и солености in situ и фактической измеренной концентрацией кислорода [2, 3].

На динамику распределения температуры на разрезе значительно повлияла экстремально холодная зима 2011–2012 гг (рис. 1). Термоклин и верхний квазиоднородный слой (ВКС) сформировались в конце апреля, и просуществовали до конца всего периода наблюдений. Минимальная температура в верхних 50 м за исследуемый период составила 6.75 ^{o}C (10 мая, глубина 50 м, станция с глубиной 500 м), максимальная – 27.23 ^{o}C (26 июля, поверхность, станция с глубиной 500 м). В среднем в 2012 г. толщина термоклина была небольшой, около 11 метров.

В течение года концентрация Chl-a в верхнем 50-м слое изменялась в пределах от 0.01 до 1.39 мкг/л (рис. 1). Самые высокие значения Chl-a были отмечены в начале

апреля и конце июня. 4 апреля на станции с глубиной 50 м концентрация Chl-a достигла своей максимальной отметки и на горизонте 10 м составила 1.39 мкг/л. Минимальные величины Chl-a были отмечены в июле. С сентября по ноябрь происходило постепенное увеличение содержания Chl-a. Таким образом, сезонная динамика Chl-a носит «волнообразный» характер, заключающийся в чередовании периодов с низким и высоким его содержанием.

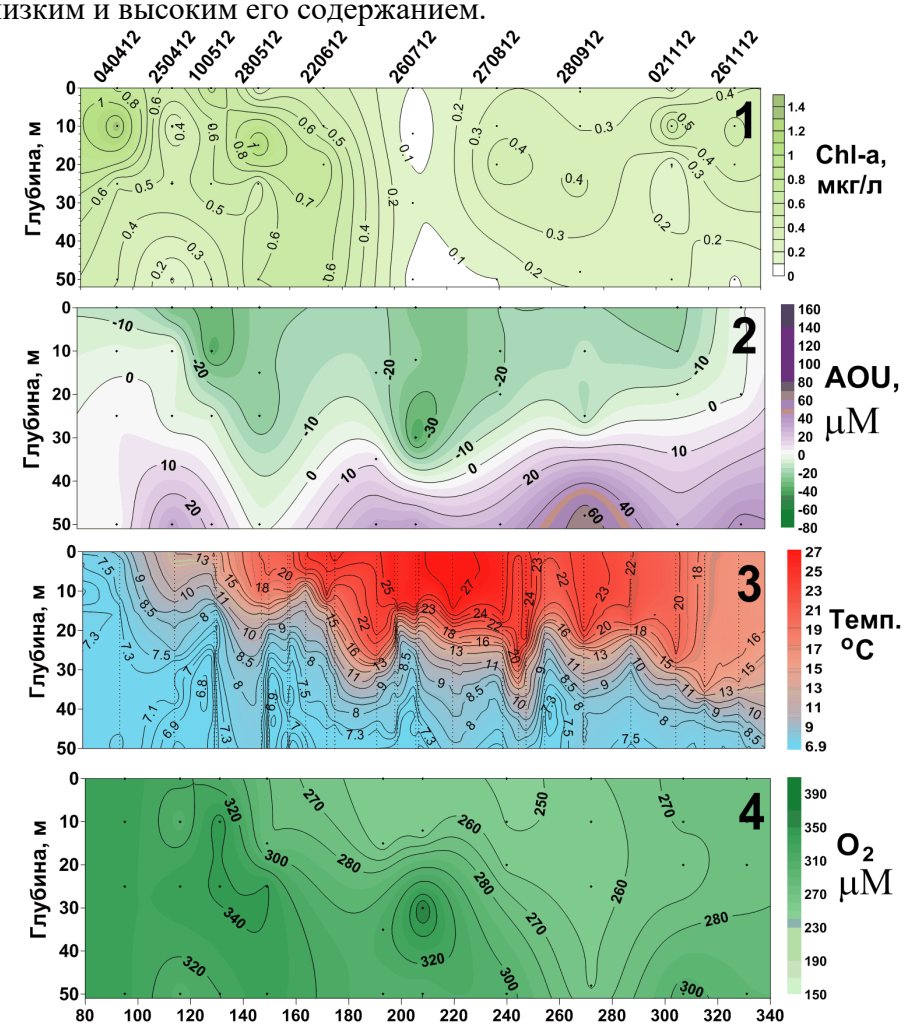


Рис. 1. Сезонная динамика Chl-a (1), AOU (2), температуры (3), и растворенного кислорода (4) в 50-м слое водной толщи на станции с глубиной 50 м в период с 4 апреля по 26 ноября 2012 г.

Концентрация кислорода в течение года варьировалась в верхнем 50-м слое от 240 до 351 μM (рис. 1). В целом сезонная динамика кислорода повторяла сезонный тренд температуры, что связано с прямой зависимостью растворимости газов от температуры. Рисунок 2 демонстрирует, что зависимость концентрации кислорода от температуры в верхнем 50-метровом слое водной толщи проявлялась при значении температуры более 8.5°C. При более низких температурах (6.6-8.5°C), которые наблюдались в апреле во всей толще, а в последующие сезоны – на глубинах более 25 или 50 м (слой воды, расположенный под нижней границей термоклина), зависимость концентрации кислорода от температуры не проявлялась.

Показатель AOU служит для того, чтобы исключить влияние температуры и солености и более четко продемонстрировать смещение величины кислорода от равновесного содержания [2]. Величина AOU в течение года менялась от -76.9 μM (22

июня на поверхности станции с глубиной 10 м) до 69.6 μM (28 сентября на станции с глубиной 50 м у дна) (рис.1). Согласно распределению AOU, слой, в котором превалируют продукционные процессы над деструкционными, располагался в верхних 20-40 м, причем меньшая продукционная активность этого слоя наблюдалась в апреле и ноябре, а наибольшая – 26 июля и совпадала с максимумом температуры и минимумом хлорофилла-а. В этот же период (26 июля) средняя в верхнем 50-м слое величина AOU достигала минимальных значений для станций с глубинами 25, 50, 100 и 500 м и составляла соответственно -34.9, -18.4, -14.0 и -14.2 μM. В течение ноября активность продукционных процессов снизилась, и 26 ноября в верхнем 20 м слое в среднем составляла около 0 μM. Таким образом, была отмечена противофазная временная изменчивость AOU и хлорофилла-а в течение года.

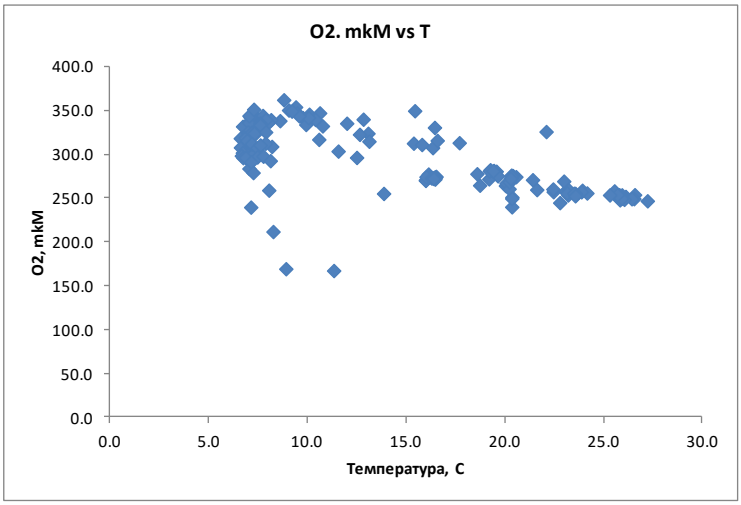


Рис. 2. Зависимость концентрации кислорода от температуры воды в верхнем 50-м слое водной толщи на разрезе в период с 4 апреля по 26 ноября 2012 г.

На рисунке 3 представлены глубина нижней границы термоклина, максимального содержания кислорода и хлорофилла-а, а также глубина минимальной величины AOU на станции с глубиной 500 м.

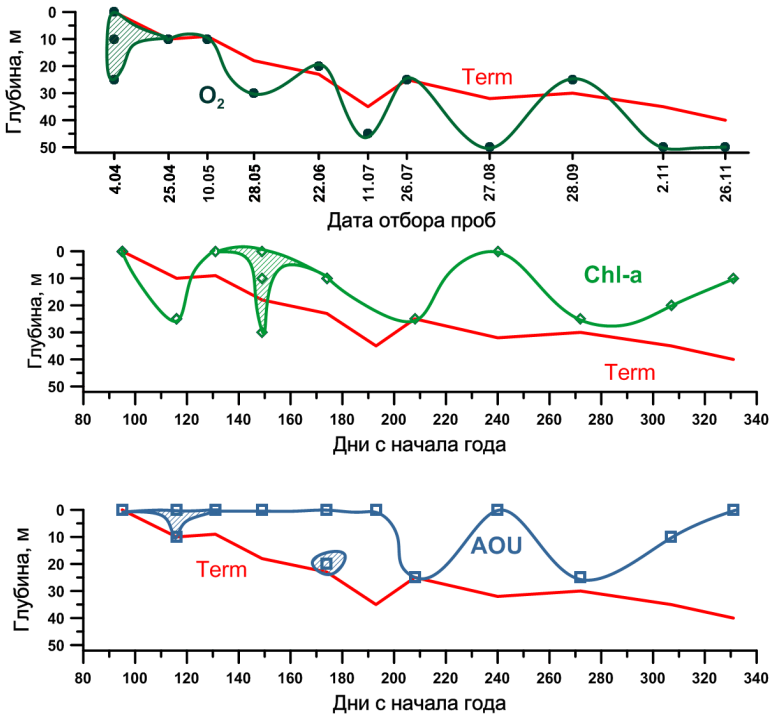


Рис. 3 - Максимальное содержание кислорода (верхний рисунок) и хлорофилл-а (рисунок в центре), глубина минимальной величины AOU (нижний рисунок) на станции с глубиной 500 м. Глубина нижней границы термоклина показана красной линией.

Из анализа обработанного материала были получены следующие выводы:

1) Сезонная динамики кислорода в слое воды, расположенном над нижней границей термоклина, в значительной степени повторяла временной тренд температуры, что связано с зависимостью растворимости газов от температуры.

2) При наличии термоклина, максимум кислорода наблюдался чаще всего непосредственно в термоклине или под ним, причем последнее в значительной степени также обусловлено понижением температуры.

3) Сезонная динамика Chl-a носила «волнообразный» характер, заключающийся в чередовании периодов с низким и высоким его содержанием. Максимальные величины хлорофилла-а в водном столбе наблюдались в большинстве случаев на горизонтах 10-20 м.

4) Минимальные величины AOU наблюдались чаще всего над термоклином, преимущественно на поверхности, что может быть связано с максимумом первичной продукции, характерным для подповерхностного слоя между горизонтами 5 и 10 м [4]. Сезонная динамика AOU противофазна динамике Chl-a, что скорее всего связано с различной способностью доминирующего комплекса фитопланктона выделять кислород и органические вещества в различные фазы своего развития [5, 6].

Работа выполнена по гранту РФФИ №19-05-00459.

Литература

1. Holm-Hansen O. Chlorophyll-a determination: improvements in methodology / O. Holm-Hansen, B. Riemann // Oikos. – 1978. – Vol. 30. – P. 438–447.

2. *Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A.* The influence of organisms on the com-position of seawater / The Sea / M.N. Hill (ed).– NY: Intersc., 1963.– 2.– P.26-77.

3. Weiss R.F. The solubility of nitrogen, oxygen, and argon in water and seawater / R.F. Weiss // Deep Sea Research. – 1970. – Vol. 17. – P. 721–735.

4. Сорокин Ю.И. Черное море: Природа, ресурсы / Ю.И. Сорокин. – М.: Наука, 1982. – 218 с.

5. Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море / К.М. Хайлов. – Киев: Наукова Думка, 1971. – 252 с.

6. Chen W. Production of dissolved organic carbon in phytoplankton cultures as measured by high-temperature catalytic oxidation and ultraviolet photo-oxidation methods / W. Chen, P.J. Wangersky // Journal of Plankton Research. – 1996. – Vol. 18. – No 7. – P. 1201–1211.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ДРЕЙФУЮЩИХ АРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ РАЗНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДРЕЙФА

Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е., Рясслов Р.П.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

STATISTICAL ANALYSIS OF METEOROLOGICAL MEASUREMENTS FROM DRIFTING ARCTIC STATIONS FOR DIFFERENT DRIFT PATHS

Kuznetsov A. D., Serouhova O.S., Simakina T.E., Riaslov R.P.
Russian state hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia

По данным трех научно-исследовательских дрейфующих станций, участвовавших в различных системах движения льдов Северного Ледовитого океана, выполнен сравнительный анализ статистических свойств рядов метеорологических элементов

A comparative analysis of statistical properties of series of meteorological elements was performed based on the data of three research drifting stations that participated in various systems of ice movement in the Arctic ocean

Введение

К настоящему времени накоплен большой объем данных по исследованию Арктического бассейна, в частности, результаты дрейфа отечественных полярных станций с конца 30-х годов до 1990 г. В данной работе на основе такого материала проведен статистический анализ метеорологических измерений с дрейфующих арктических станций для разных траекторий дрейфа.

Исходные материалы

Выбор станций для анализа обусловлен классификацией траекторий дрейфа 30 советских полярных станций СП [1-3], которые условно разделены на три группы: 1 — станции, дрейфовавшие через полюс или вблизи него в Гренландское море; 2 — станции, вовлеченные в антициклонический круговорот льдов западного сектора Арктики; 3 — станции, дрейф которых отличается от «стандартных» вариантов. Распределение станций по названным группам представлено на рис. 1.

Рис. 1. Распределение станций по траектории исследуемых Дрейфа

Рис. 2. Траектории движения дрейфующих станций (СП3 – синяя кривая, СП31 – зеленая, СП16 – оранжевая)

В первую группу попадает 18 траекторий (60 %), во вторую — 7 траекторий (23 %) и в третью — 5 траекторий (17 %). Таким образом, 83 % станций СП дрейфовали в двух мощнейших системах движения льдов Северного Ледовитого океана. Дрейфы пяти станций являются следствием попеременного влияния этих систем.

В работе выполнен анализ данных следующих станций:

СП 3 – представитель первой группы траекторий, СП31 – второй и СП16 – третьей. Траектории движения станций СП3, СП31 и СП16представлены на рис. 2. Средние скорости их движения составили соответственно 5,7; 5,4 и 4,1 км/сутки.

Борьба атмосферных систем за влияние на движение льдов отчетливо прослеживается по траектории самой медленной станции СП-16 (см. рисунок 2). Она была открыта 9 апреля 1968 года во льдах северной части Чукотского моря и в первой половине дрейфа шла к полюсу по меридиану 180°. На широте 84° с. ш. верх взяла сила Кориолиса, и станция повернула в антициклонический круговорот. В марте—апреле 1970 года антициклонический круговорот, очевидно, ослабился и возобладал трансарктический перенос льда в сторону Гренландии, поэтому льдина поменяла направление движения на 90° и устремилась к Гренландии, пройдя вплоть до своего закрытия в генеральном направлении 700 км.

Попеременное влияние трансарктического перемещения и антициклонического круговорота плавучих льдов Арктики отразилось на многочисленных зигзагах и петлях, описываемых траекторией станции СП16.

Результаты исследования

Распределение температуры на трех станциях представлено на рис. 3.

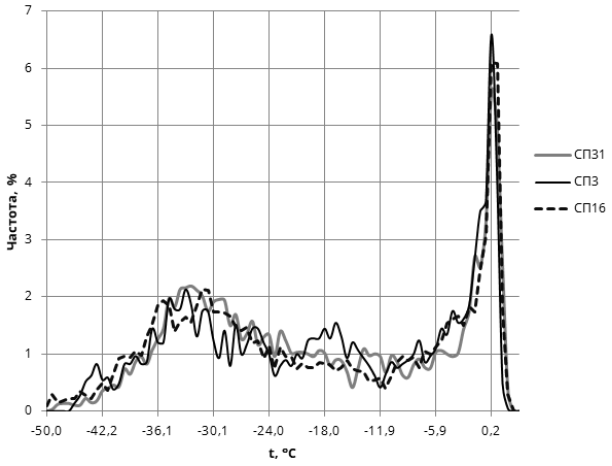
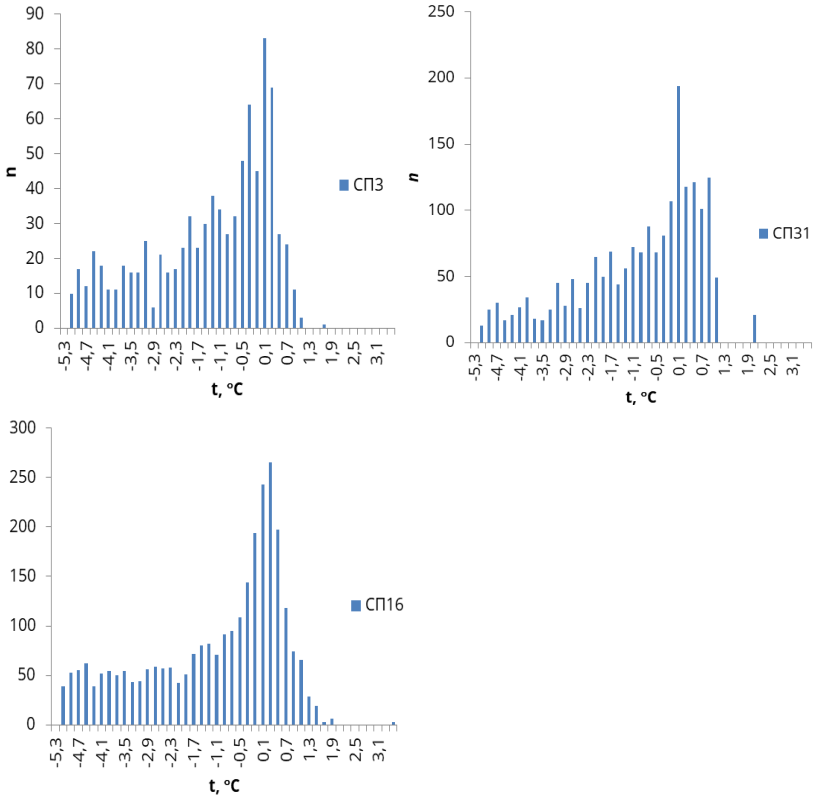


Рис. 3. Гистограмма распределения температур воздуха по данным СП3, СП31, СП16

Распределение во всех трех дрейфах очень похожее, двухмодальное. Первая мода с большей дисперсией в районе температуры -31 °С. Вторая мода с меньшей дисперсией в районе нулевых температур. На рис. 4 представлено это распределение (вторая мода) в более подробном масштабе.

Далее исследована связанность изменения температур, измеренных в различных дрейфах. Наименьшая связь между температурами наблюдалась при трансарктической и антициклонической траекториях (корреляция между температурами СП3 и СП31 составила около 0,5). Наибольшая связь между температурами СП16 и двумя другими (корреляция между температурами СП3 и СП16 составила около 0,78; между СП31 и СП16 - 0,72).

Далее выполнен анализ направлений ветра по данным СП3, СП31, СП16. На рис. 5 представлены розы ветров.



а) б) в)

Рис. 4. Вторая мода распределений температур воздуха по данным СП3 (а), СП31 (б), СП16 (в)

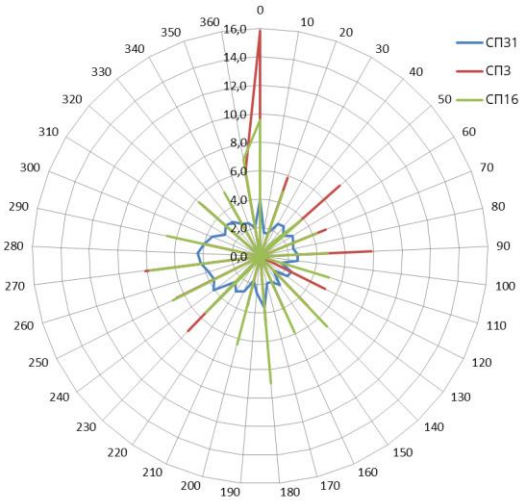


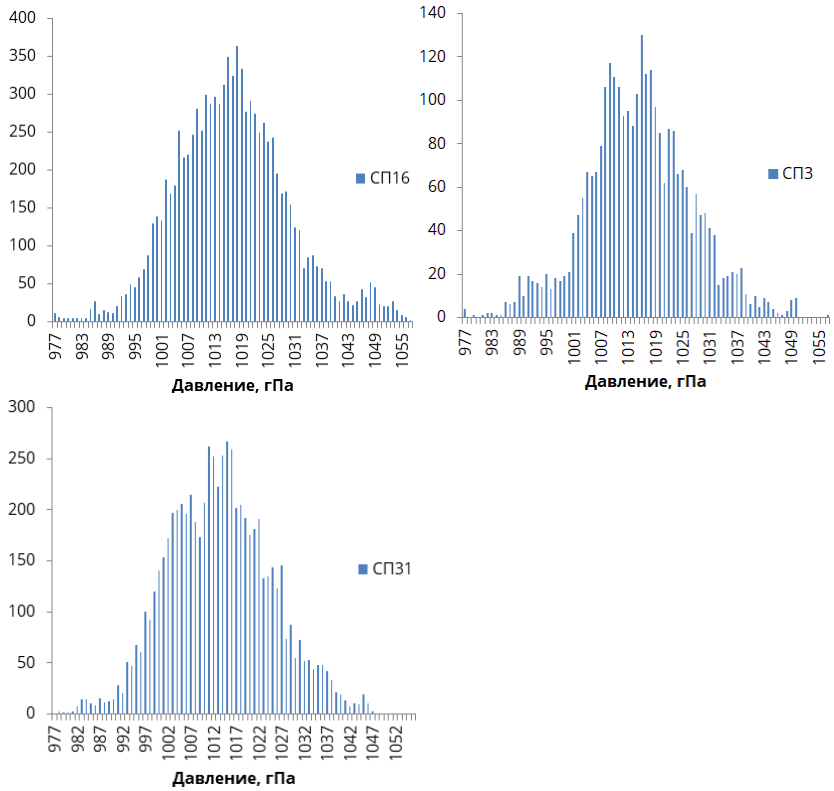
Рис. 5. Роза ветров по данным СП3, СП31, СП16 (обозначения – на рисунке)

Станция СП31, которая сделала круг, подчинялась изменению направления, меняющемуся с одинаковой частотой, роза ветров для этой станции является практически концентрической окружностью. Совсем иначе распределено направление ветра при дрейфе СП3 и СП16. Здесь наблюдаются регулярные пропуски направлений (направление ветра менялось скачками), причем такой характер изменения направления одинаков для обеих станций. Одной из возможных причин такого скачкообразного изменения направления ветра может быть связана с методикой определения этого метеорологического параметра на СП3 и СП16, которая отличалась от применяемой на СП31 методики.

Станция СП3 испытывала чаще всего (15,7%) северный ветер, хотя смещалась все время на север. При дрейфе станции СП16 примерно по 10 % преобладали ветры северного и южного направлений, хотя опять-таки большая часть времени станция СП16, как и станция СП3, дрейфовала в северном направлении.

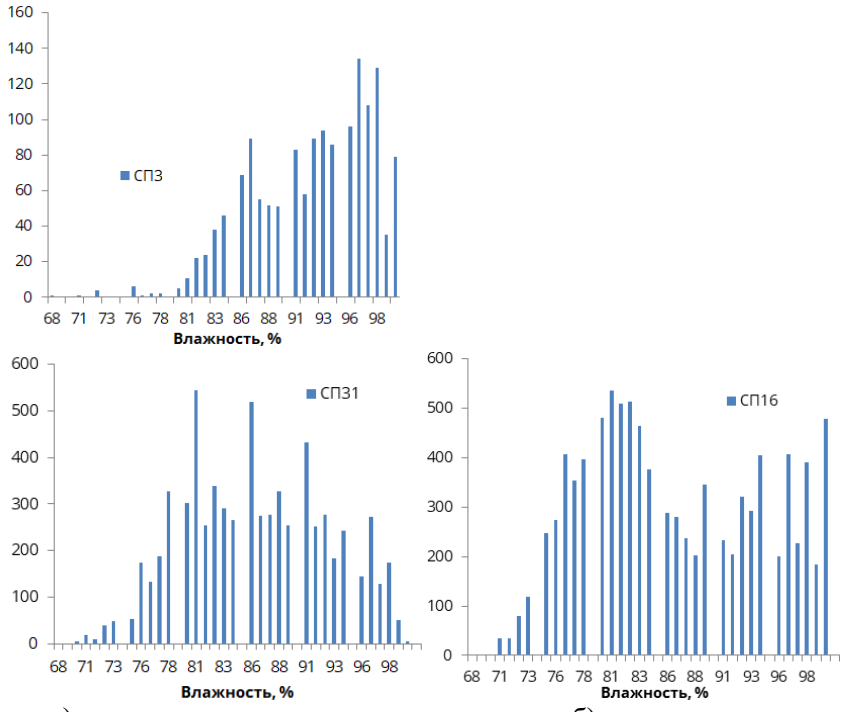
Гистограммы распределений атмосферного давления и относительной влажности представлены на рисунках 6 и 7 соответственно.

Наибольшие различия прослеживаются в распределении влажности. При трансарктическом дрейфе (СП3) воздух большую часть времени был близок к насыщению. При круговой траектории дрейфа (СП31) - средняя влажность около 86%, до 100% значения практически не поднимались. Третий дрейф ожидаемо имеет двухмодальную структуру: видимо «сухой» воздух со средней влажностью 82% наблюдался при части маршрута, соответствующей круговому дрейфу, а влажный в районе 100% - при полярной траектории.



а) б) в)

Рис. 6. Гистограммы распределения атмосферного давления по данным СП3 (а), СП31 (б), СП16 (в)



а) б) в)

Рис. 7 Гистограммы распределения относительной влажности воздуха по данным СП3 (а), СП31 (б), СП16 (в)

Заключение

Сложность совместного анализа данных, получаемых с дрейфующих в Северном

Ледовитом океане станций, заключается в том, что эти данные являются асинхронными как по времени, так и по пространству. В то же время эти данные имеют большую ценность, так как являются комплексными контактными, выполненными на сертифицированной аппаратуре квалифицированными специалистами. Сравнение таких метеорологических данных представляется полезным, так как позволяет выявить как схожий характер протекания атмосферных процессов, так и характерные различия.

Литература

1. Угрюмов А. И., Коровин В. П.. На льдине к Северному полюсу. История полярных дрейфующих станций. СПб: Гидрометеоиздат. 2004.

2. Елисеев Д. О., Наумова Ю. В. Экономическое освоение российской Арктики: цели, задачи, подходы //Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2015. – №. 3.

3. Попов К. В., Либина Н. В., Ушакова М. Г. О дрейфе научной станции «Северный полюс-1» //Океанологические исследования. – 2019. – Т. 47. – №. 4. – С. 222-236.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЛЬЕФА БАССЕЙНА МАЛОЙ РЕКИ ОКССКО-ДОНСКОЙ РАВНИНЫ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ КАРАЧАН

Кузьмин К.А.,. Буковский М.Е,. Чернова М.А
Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия

MORPHOMETRIC INDICATORS OF THE RELIEF OF THE SMALL RIVER BASIN OF THE OKA-DON PLAIN ON THE EXAMPLE OF THE KARACHAN RIVER

. Kuzmin K.A,. Bukovskiy M.E,. Chernova M.A
Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia

В статье рассматривается морфометрическая структура речного бассейна, в частности средние уклоны склонов водосборов на примере реки Карачан – правого притока реки Хопёр (бассейн Дона).

The article examines the morphometric structure of the river basin, in particular, the average gradients of catchment slopes on the example of the Karachan river – the right tributary of the Khoper river (Don basin).

В гидрологических исследованиях и решении задач инженерного обустройства территорий встаёт вопрос оценки вклада рельефа в те или иные физические процессы, протекающие на земной поверхности, такие как речной сток, склоновая и линейная эрозия. Провести подобную оценку можно путём изучения количественных характеристик рельефа, получаемых, как правило, картометрическим способом. Одними из основных таких характеристик являются уклоны русел и склонов водосбора, обусловленные эрозионно-аккумулятивными процессами. Данные показатели во многом определяют формирование речного стока, гидрологический режим, а также скорость распространения загрязняющих веществ при чрезвычайных ситуациях техногенной природы.

В региональном землеустройстве учёт крутизны склонов является одним из первых этапов планирования территории под сельскохозяйственные угодья [1]. Решая задачу оптимизации землепользования, ряд исследователей понимает под этим понятием организацию размещения пашни, лугов, пастбищ в пределах конкретного бассейна в зависимости от его морфометрических характеристик. Сбалансированное соотношение различных угодий на водосборе минимизирует деградацию земель и снизит поступление наносов в водные объекты [2]. Кроме того, уклоны территорий необходимо учитывать при проведении работ по рекультивации нарушенных земель [3]. Всё это подчёркивает важность изучения уклонов в разрезе изучения структуры бассейна.

Уклон водотока характеризует его водность и транспортирующую способность. Выражается отношением падения (Δh), т.е. разностью высотных отметок истока и устья водотока, к его длине (L) [4, 5] (1):

$$i = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{\Delta h}{L} \quad (1)$$

Средний уклон склонов водосбора – одна из ключевых количественных характеристик рельефа речного бассейна, применяемая в гидрологических расчётах. Уклоны склонов водосбора влияют на максимальные расходы половодий и паводков. Согласно методическим изданиям, определяется данная величина по формуле [4, 5] (2):

$$I_в = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{2}(l_i + l_{i+1})h_i\right] / F \text{ или } I_в = h\sum l / F \quad (2)$$

Где $h_i = H_{i+1} - H_i$ – превышение между соседними измеренными горизонталями, l_i – длина горизонтали, F – площадь водосбора, h – высота сечения рельефа.

Значение h_i зависит от того, какие горизонтали выбраны для определения среднего уклона склонов водосбора. Когда измеряются длины всех горизонталей в границах водосборного бассейна, h_i будет равно высоте сечения рельефа h на выбранной для измерений карте.

Широко распространённые на освоенных равнинах водосборы малых рек (до 2000 км^2) испытали существенное антропогенное преобразование. Они представляют собой обособленную геофункциональную систему с динамично протекающими склоновыми и русловыми процессами [6]. Изучение морфометрической структуры таких водосборов представляет большой интерес, и в перспективе нацелено на решение ряда геоэкологических проблем.

Объектом исследования выбран бассейн реки Карачан. Это малая река, протекающая в Тамбовской и Воронежской областях, правый приток Хопра (донской бассейн). Длина – 105 км, течёт с севера на юг в пределах Окско-Донской равнины. Площадь водосбора – 1300 км^2. Территория бассейна широко используется в сельском хозяйстве, её распаханность составляет 70%. Леса и болота почти отсутствуют [7].

Рост оврагов и интенсивный смыв почв в пределах обозначенного бассейна отмечались А.Г. Курдовым ещё в 1980-е годы [7]. Естественным образом выдвигался вопрос о мелиоративных мероприятиях: посадка противоэрозионных лесонасаждений вдоль балок, возведение балочно-лощинных прудов для задержки стока. На текущий момент состояние овражно-балочных насаждений неудовлетворительное, требуется их восстановление и численное увеличение. Небольшие пруды в истоках балок накапливают отмирающую органику, зарастая водной и береговой растительностью из-за отсутствия ухода. Русла постоянных водотоков заиливаются, скорость течения в них минимальна. Описанные проблемы в большей или меньшей степени характерны для многих малых рек центра Европейской части России.

Выполнить расчёт морфометрических характеристик водосбора можно обширным инструментарием современных геоинформационных систем (ГИС). В основе такой работы лежит моделирование поверхности водосбора, т.е. создание цифровой модели рельефа (ЦМР), и её последующий морфометрический анализ. В данной работе была использована ГИС MapInfo. На основе крупномасштабных топографических карт проводилась векторизация элементов картографического рельефа: горизонталей, точек высотных отметок и урезов воды. Отрисовывалась речная сеть, определялись водоразделы. Далее были определены основные водотоки в бассейне реки Карачан с площадью водосбора более 25 км^2. Для реки Карачан и выбранных притоков были рассчитаны морфометрические характеристики: длина, площадь водосбора, продольный уклон, средний уклон склонов водосбора. В таблице 1 приведены результаты.

Таблица 1. Расчёт морфометрических характеристик наиболее крупных водотоков в бассейне реки Карачан.

Название водотока	Длина, км	Площадь водосбора, км^2	Уклон водотока, ‰	Средний уклон склонов водосбора	
				‰	в градусах, °

Карачан	105	1300	0,81	25,15	1,4
Без названия у д. 2-я Александровка	11	40	3,31	16,21	0,9
Веронинка	11	44	3,03	15,9	0,9
Сухой Карачан (верхний)	23	156	2,3	19,44	1,1
Без названия у д. Кузнецовка	8	34	3,94	11,01	0,6
Без названия у с. Шпикулово	9	26	3,94	14,92	0,9
балка Земляная	13	59	3,74	21,39	1,2
Терновка	28	150	1,82	21,26	1,2
Сухой Карачан (нижний)	46	277	1,49	22,71	1,3
овраг Ближний Крутой	16	74	2,95	20,09	1,2
овраг Булычев	13	39	2,2	13,08	0,7
овраг Караичев	13	48	3,9	22,69	1,3
балка Мокрая	7	28	6,05	28,25	1,6
овраг Разбердейкин	13	42	4,26	28,56	1,6

На рисунке 1 изображена модель рельефа бассейна реки Карачан, использованная для расчётов.

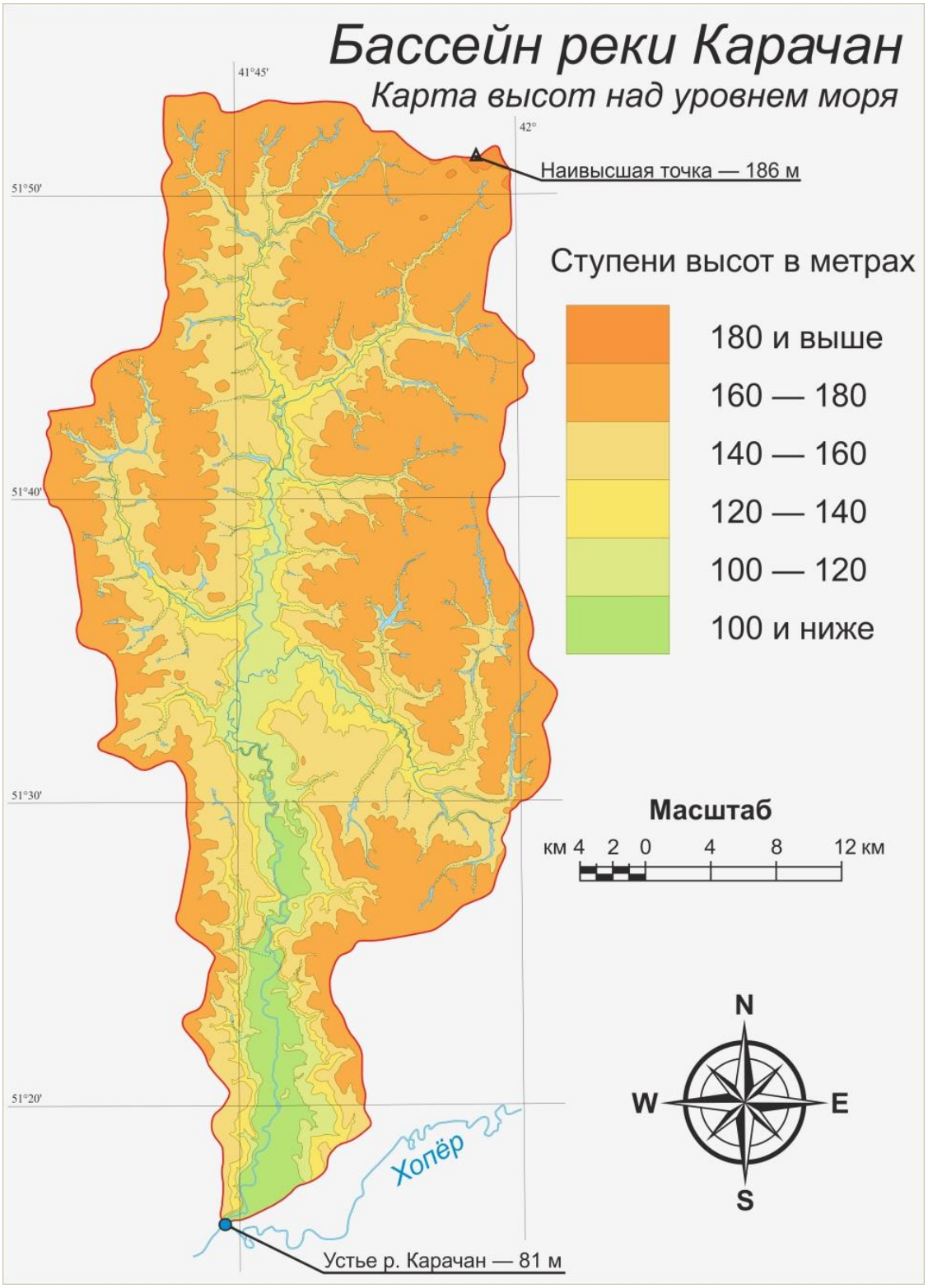


Рис. 1. Карта высот над уровнем моря бассейна реки Карачан

Проанализированы параметры 14 водотоков. В основном это были притоки 2 и 3 порядка по классификации Хортона–Стралера [8, 9]. Основные притоки Карачана: Сухой Карачан нижний (4 порядок), Терновка (3 порядок), Сухой Карачан верхний (3 порядок). Сам Карачан – водоток 5 порядка. Значения средних уклонов склонов водосборов находятся в промежутке от 0,6° до 1,6°. Наименьший средний уклон

склонов водосбора оказался у притока Без названия у д. Кузнецовка и составил 11,01 ‰. Наибольшие средние уклоны склонов водосбора имеют водотоки, лежащие в пределах Воронежской области – балка Мокрая, овраг Разбердейкин (нижнее течение реки Карачан). Эти же водотоки обладают наибольшими уклонами русла. В целом же средние уклоны рассмотренных водотоков колеблются от 0,81 до 6,05 ‰, или 81 - 605 см/км.

Средние уклоны склонов водосборов возрастают вслед за глубиной вреза главной долины с севера на юг. Для территорий южной части бассейна потенциальная эрозионная опасность более велика в силу большей вертикальной расчленённости рельефа. Конкретные количественные показатели эрозионных процессов (смыв почв, скорость роста оврагов) могут сильно различаться даже на небольшой территории в пределах некрупного речного бассейна. Соответственно для точечной оценки земель потребуется изучение морфометрии рельефа более локальных структур.

Дальнейшее исследование бассейна реки Карачан видится в расчёте основных характеристик более сотни выделенных водотоков 1 порядка с их последующей типизацией.

Сегодня приоритетной целью для геоэкологических исследований речных бассейнов освоенных территорий должно служить решение задач сохранения плодородия почв и снижения загрязнения поверхностных вод.

Литература

1. Топтыгин В.В. Организация территории пашни в условиях водной эрозии почв: метод. указания / В.В. Топтыгин; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2018. – 94 с.
2. Мальцев К.А., Шарифуллин А.Г. Морфологическая классификация малых водосборов в речных бассейнах освоенных равнин // Геоморфология. 2017. №. 3. – С. 76 - 87.
3. Половников А.В. Рекультивация и мелиорация нарушенных земель / А.В. Половников. - Пермь: изд-во Пермской ГСХА, 2016. – 51 с.
4. Р 52.08.874-2018 «Определение гидрографических характеристик картографическим способом». СПб., 2018. – 172 с.
5. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. Ред. Л.А. Чепелкина. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 93 с.
6. Бондарев В.П. Изучение морфодинамики малого водосборного бассейна как основа его геоэкологического анализа // Экология речных бассейнов: Труды 9-й Междунар. науч.-практ. конф. / Под общ. ред. проф. Т.А. Трифоновой; Владим. гос. ун-т. им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, 2018. – С. 23 - 29.
7. Реки Воронежской области : (Вод. режим и охрана) / А. Г. Курдов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1984. – 162 с.
8. Хортон Р.Е. Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов – М.: Изд-во иностр. лит., 1948. – 158 с.
9. Strahler A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology // Geological Society of America Bulletin. – 1952. – Vol. 63, No 11. – pp. 1117 - 1142.

ЛАБОРАТОРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИСКЛОНОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Куприянова А.А.[1,2], Гриценко В.А.[1,2]
[1]Балтийский федеральный университет им. И.Канта, Калининград, Россия
[2]Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва Россия

LABORATORY AND NUMERICAL MODELLING OF CONVECTIVE PROCESSES ABOVE SLOPING BOTTOM

Kupriyanova A.E.[1,2], Gritsenko V.A.[1,2]
[1]Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia
[2]Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Изучение процесса выхолаживания прибрежных вод с поверхности выполнено при помощи лабораторных и численных экспериментов. Описаны фазы погружения, достижения склона дна и движения по нему малых объемов воды с отрицательной плавучестью. Рассмотрено взаимодействие между собой двух малых объемов соленой воды при их движении по склону дна в окружении пресной.

The study of the process of cooling of coastal waters from the surface was carried out using laboratory experiment and numerical modeling. The phases of diving, reaching the underwater slope and movement of small volumes of water with negative buoyancy along it was described. The interaction between two small volumes of salt water during their propagation along the underwater slope is analyzed.

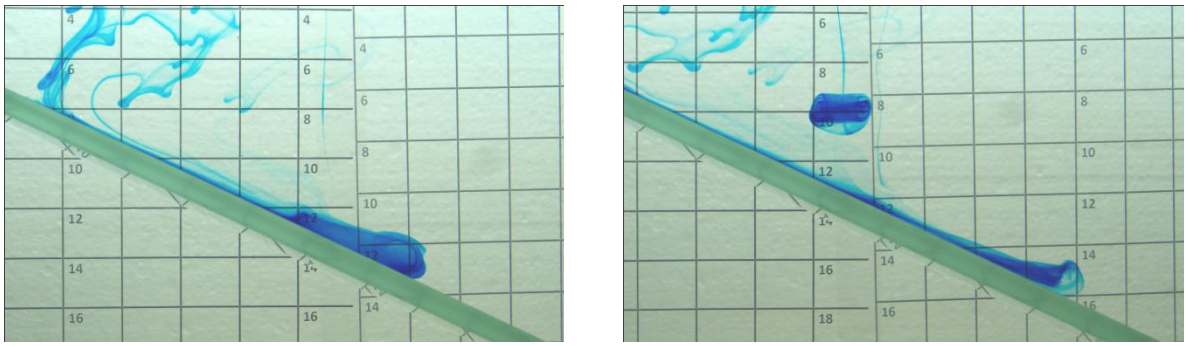
Хорошо известно, что возможным откликом прибрежных вод на выхолаживание с поверхности являются вдольсклоновые потоки более холодных вод в виде придонных гравитационных и интрузионных течений. Натурные наблюдения [1-3] свидетельствуют о прерывистом, импульсном характере вдольсклоновых течений в морских прибрежных водах. Обычно предполагается [4-6], что при выхолаживании на поверхности воды формируются малые по величине объемы более холодной воды и в процессе разрешения классического варианта неустойчивости начинается их погружение в глубину.

Цель работы заключалась в исследовании при помощи лабораторных и численных экспериментов распространения конечных объемов вод с отрицательной плавучестью при их погружении с поверхности, достижении склона дна и последующем движении по нему.

Лабораторные эксперименты были выполнены в гидролотке лаборатории физики моря Института океанологии им.П.П. Ширшова РАН (Атлантическое отделение, г. Калининград). При проведении экспериментов в приповерхностном слое пресной воды, полностью заполнявшей рабочее пространство лотка (80 х 60 х 12.5 см), формировался объем соленой воды ~3 мл. Малые величины добавочной плотности (~0.0001 г/см^3) и скорости погружения более тяжелой воды позволили выполнять фоторегистрацию при помощи обычных цифровых камер (Nikon, Sony). Параметры объемов соленой воды соответствуют условиям лабораторных экспериментов различных авторов [4,7,8].

Типичный вид наблюдаемого в экспериментах начального этапа движения малого объема соленой воды по склону дна и погружения второго объема приведены на рис. 1. Общая картина динамики вполне соответствует имеющимся представлениям о такого рода процессах [4,5,8,9]. При достижении склона дна объем соленой воды начинал свое

движение по его поверхности, формируя тем самым отдельный импульс придонного течения.



а *б*

Рис. 1 Типичный вид начального этапа движения малого объема соленой воды вдоль склона дна в окружении пресной после его вертикального погружения с поверхности и контакта с дном (*а*) и погружения второго объема (*б*) с продолжающимся движением первого объема по склону дна. Величина объемов соленой воды ~ 3 см^3, перепад плотности между ними и водой в лотке $\Delta\rho_0$=0,0001 г/см^3, наклон дна ~27^o. Линейный размер сетки на заднем плане 2х2 см.

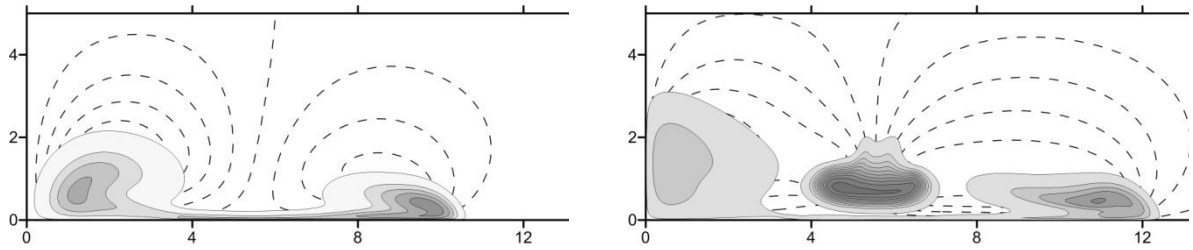
Визуальные наблюдения и анализ изображений на снимках течений в лотке показали длительно сохраняемую слоистость распределений трассеров внутри объемов соленой воды, как погружающихся, так и двигающихся по склону дна, что позволило сделать вывод о ламинарном характере течений. Эксперименты в лотке позволили заключить также, что движение вдоль склона дна объемов соленой воды сохраняет некоторые черты динамики плотностных течений с постоянным расходом [2,4], играющих важную роль в обмене прибрежных и глубинных вод моря. Ламинарный характер движения малых объемов более тжелой воды приводит к преобладанию динамического механизма смешения соленых и пресных вод над перемешиванием, и сохранением слоистого характера плотностной структуры формирующегося единого объема.

Модельные течения. Для расчетов использовалась нелинейная двумерная модель неоднородной по плотности жидкости в переменных завихренность - функция тока - избыточная плотность [9], что обееспечило высокое пространственное разрешение в вертикальной плоскости столь необходимое при исследовании конвективных процессов. Малые скорости погружения соленой воды, наблюдаемые в экспериментах, позволили ограничиться ламинарным случаем расчетных течений. Традиционная система уравнений модели была дополнена уравнениями для пассивных трассеров нейтральной плавучести, позволивших выполнять детализацию поведения конкретных объемов воды. Все модельные поля задавались на сетке размерностью 1201 х 121, Масштабы расчетных течений изменялись в диапазонах: линейный ~ 1-2 см, перепада плотности ~ 0,0001-0,001 г/см^3, скорости ~ 0,5-2,0 см/с. Угол наклона дна в расчетах составил -10^0. Пятно соленой воды плотностью $\rho_0 + \Delta\rho_0$ формировалось в виде сеточной области 31 х 31 узлов.

Общие черты движения двух последовательно во времени формирующихся над склоном дна малых объемов соленой воды оказались вполне ожидаемыми (рис. 2): сначала происходит погружение пятна соленой воды до контакта с дном, затем происходит движение соленой воды пятна вниз и, частично, вверх по нему. Движение соленых вод вниз по склону дна имеет характерные черты динамики придонных плотностных течений [2,4,8]. Формируемое вихревое движение соленых вод хорошо различимо на распределениях линий тока.

Характерные размеры описываемого ниже расчетного течения были следующими: линейный масштаб h_0=1 см, избыточной плотности $\Delta\rho_0 = 0{,}0002\ г/см^3$. Масштаб скорости равнялся 0.4 см/сек. Для лучшего разрешения все графики воспроизводятся только для части расчетного пространства, общие размеры которого составляют [0, 60.0] x [0, 6.0]. Обратим внимание, что расчетное пространство наклонено на угол -10^0.

Использование в модели двух дополнительных трассеров нейтральной плавучести позволило детально описать особенности процессов взаимопроникновения водных двигающихся по склону дна малых объемов соленых вод друг в друга.



а ***б***

Рис. 2. Последовательные фазы начального этапа движения (вверх и вниз) первого объема соленой воды по склону дна после погружения с поверхности и контакта с дном (а) и свершившееся погружение второго объема (б) на фоне продолжающегося движения первого объема. На рисунке приведены распределения изолиний поля избыточной плотности $\Sigma = \sigma/\Delta\rho_0$ (сплошные линии с серой заливкой проведенные с шагом в 0.15) и функции тока ψ (штриховые линии, с шагом в 0.2). На графиках хорошо видно растекание соленых вод пятна по наклонному дну (угол наклона -10о).

Выводы. Сочетание лабораторных и численных экспериментов позволило получить общую схему погружения с поверхности пресной воды конечных объемов соленой воды, достижения ими склона дна и последующего движения по нему. Рассмотрен процесс взаимодействия двух объемов между собой и их объединение в единый с сохранением слоистой плотностной структуры. Лабораторные и численные эксперименты показали, что при равных начальных значениях параметров объемов второй из них в процессе своего движения по склону дна всегда догонял первый. Модельные расчеты с дополнительными трассерами нейтральной плавучести для персональной «окраски» вод каждого из объемов позволили выделить четыре основных этапа их взаимопроникновения друг в друга.

Литература

1. Головин П.Н., Антипов Н.Н., Клепиков А.В. Особенности стока плотных вод в глубоководной части антарктического материкового склона (на примере моря Содружества) // Метеорология и гидрология. 2018. №12. С. 81-93.
2. Simpson J.E. Gravity currents in the laboratory, atmosphere and ocean // Ann. Rev. Fluid Mech. 1982. V. 14. PP. 213-234.
3. Middleton J.H., Foster T.D., Foldvik A. Low-Frequency Currents and Continental Shelf Waves in the Southern Weddell Sea // J. Phys. Oceanogr. 1982. V. 12. 7. PP. 618-634.
4. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкости. М.МИР. 1977. 431 с.
5. Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. Л: Гидрометеоиздат. 1988. 303 с.
6. Maxworthy T. Convection into Domains with Open Boundaries // Annu. Rev. Fluid. Mech. 1997. 29:327–71
7. Бунэ А.В., Гинзбург А.И., Полежаев В.И.. Федоров К.Н. Численное и лабораторное моделирование развития конвекции в охлаждающемся с поверхности слое воды / Известия АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1985. Т. 21. №9. С. 956-963.
8. Альбом течений жидкости и газа. Сост. и авт. текст М. Ван-Дайка. М.: МИР. 1986. 181 с.
9. Волкова А.А., Гриценко В.А. Особенности циркуляции, возникающей при погружении с поверхности конечного объема воды с отрицательной плавучестью // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019. Т. 12. № 3. С. 26 –35.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-00717 (лабораторные эксперименты) и госзадания № 0149-2019-0013 (модельные расчеты).

Acknowledgments. This work was supported by grant № 19-05-00717 of the RFBR (laboratory experiments) and in the framework of the state assignment, topic № 0149-2019-0013 (model calculations).

ИЗМЕНЕНИЯ ЗИМНЕГО СТОКА МАЛЫХ, СРЕДНИХ И КРУПНЫХ РЕК ЯКУТИИ

Лебедева Л.С.
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия,

CHANGES OF WINTER FLOW OF SMALL, MEDIUM AND LARGE RIVERS IN YAKUTIA

Lebedeva L.S.
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

Зимний сток рек в криолитозоне Сибири реагирует на изменения климата. Его характеристики показывают тенденцию к увеличению на 27-50% постах Якутии. Самой изменчивой характеристикой является расход воды за март.

The winter streamflow in the permafrost zone of Siberia reacts to climate changes. Its characteristics show a tendency to increase at 27-50% of the gauges in Yakutia. The most variable characteristic is the streamflow in March.

Целью работы является исследование зимнего стока рек криолитозоны республики Саха (Якутия) как чувствительного к климатическим изменениям процесса, характеризующего состояние мерзлоты и гидрогеологических условий региона [1]. Многолетняя мерзлота препятствует свободному водообмену между подземными и поверхностными водами, способствует наледеобразованию, криогенному перераспределению стока и криогенным паводкам. Процессы сезонного протаивания и промерзания грунтов обуславливают межгодовую и сезонную динамику емкостей задержания воды на водосборе, могут приводить к полному истощению подземного питания зимой и перемерзанию реки до дна.

Был собран массив среднемесячных расходов воды для 100 гидрологических постов на территории республики Саха (Якутия), показанных на рис.1. Продолжительность периода наличия данных по каждому посту варьируется от 25 до 92 лет – с начала работы поста по 2017 год. Площади водосборов в массиве собранных данных варьируются от 17 до 897 000 кв.км. Среднемноголетние расходы воды варьируются от 0,03 до 7 323 куб.м/с, слои стока – от 18 до 560 мм/год. Доля стока за календарную зиму (декабрь-февраль) изменяется от 0 до 6% от общего годового стока, за период ноябрь-март – от 0 до 15%. Выбранные реки искусственно не зарегулированы и протекают в криолитозоне сплошного, несплошного и прерывистого типов залегания в пределах бассейнов рек Лены, Анабар, Оленек, Яна и Индигирка.

Дополнительно были собраны короткие ряды расходов воды за месяц по 128 закрытым постам, доступные в Государственном водном кадастре (Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, т.1, вып.16) за 1970-1980 гг. На 170 постах из 228 было зафиксировано полное перемерзание реки до дна хотя бы на один месяц за период доступных данных (рис. 1). Медианные значения площадей водосборов перемерзающих и неперемерзающих рек составляют 955 кв.км и 29000 кв.км соответственно. На большом диапазоне площадей от 10 до 224000 кв.км встречаются как промерзающие, так и непромерзающие реки. Самой крупной рекой, где было зафиксировано полное промерзание до дна, является р.Яна на постах Джангкы (площадь водосбора 216 000 кв.км, полное промерзание в течение 6 месяцев за 5 лет наличия данных, средний расход 962 куб.м/с) и Юбилейная (площадь водосбора 224 000 кв.км, полное промерзание в течение 4 месяцев за 9 лет наличия данных, средний расход 1244 куб.м/с). Севернее 65 градуса СШ постоянно текут только самые крупные реки – Лена, Оленек, Анабар, Индигирка и Алазея. Все средние и мелкие реки севера

полностью перемерзают и прекращают сток в зимний период. Постоянно текущие малые и средние реки находятся в южной части сплошной криолитозоны на границе с зоной распространения мерзлоты несплошного и прерывистого типов. Немногочисленные постоянно текущие малые и средние реки в центральной части рассматриваемой территории приурочены к горным областям, где может происходить круглогодичное питание рек трещинными подземными водами.

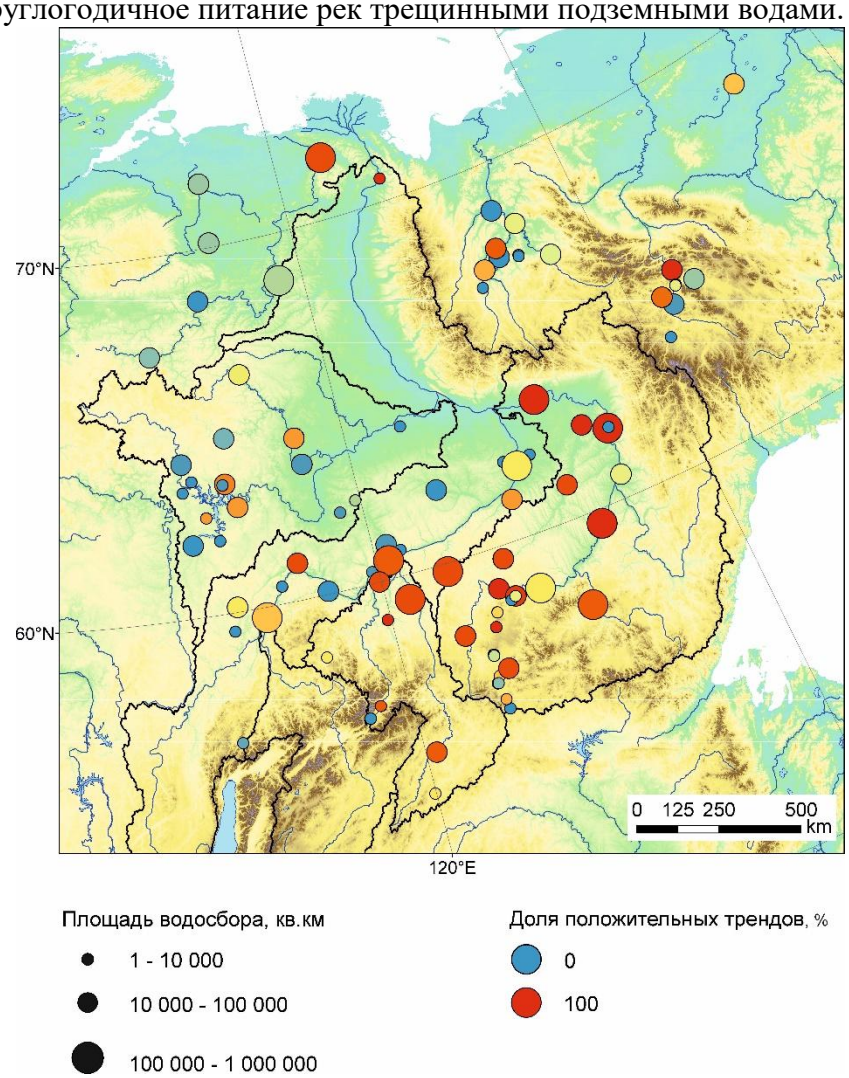


Рис. 1 Анализируемые гидрологические посты на карте. Размером знака показан площадь водосбора, цветом – доля статистически значимых положительный трендов характеристик зимнего стока

Анализировалось 12 характеристик зимнего стока: расходы воды за октябрь, ноябрь, декабрь, январь, февраль, март, средние расходы воды за декабрь-февраль, ноябрь-март, минимальный суточный расход за зиму, доля стока за декабрь-февраль и ноябрь-март в общем годовом стоке, а также средний расход воды за год.

Стационарность характеристик зимнего стока была проверена относительно наличия монотонных трендов с помощью непараметрических критериев ранговой корреляции Манна-Кендалла и Спирмена с уровнем значимости $p < 0.05$. В тех случаях, когда оба теста указывали на наличие тренда с уровнем значимости $p < 0.05$, проверялся коэффициент автокорреляции ряда. При величине коэффициента автокорреляции $r < 0.20$ тренд принимался достоверным. При $r \geq 0.20$ для устранения автокорреляции в исходных рядах применялась процедура «предварительного очищения» («trend-free pre-whitening»). «Очищенные» ряды вторично тестировались с помощью непараметрического критерия Манна-

Кендалла с уровнем значимости $p<0.05$ и делался окончательный вывод о наличии или отсутствии статистически значимого тренда.

Для каждой рассмотренной характеристики было вычислено количество постов, на которых зафиксированы статистически значимые положительные, отрицательные тренды или их отсутствие. Выяснено, что ряды расходов за март показали статистически значимые тренды на наибольшем количестве постов – положительные на 50%, отрицательные – на 7% (рис.2). Более, чем на 40% постов растут расходы за ноябрь, январь, февраль и минимальный суточный расход за зиму. На 32-39% постов увеличиваются расходы воды за октябрь, декабрь, средние расходы за периоды декабрь-февраль, ноябрь-март и за год. На 27% и 28% постов растут доли стока за декабрь-февраль и ноябрь-март.

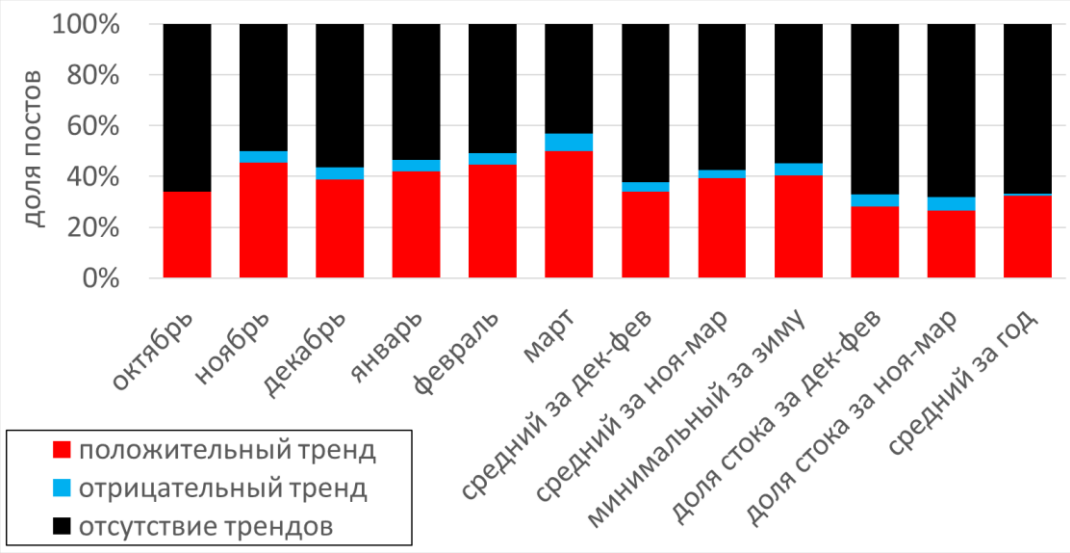


Рис. 2 Доля постов, на которых были выявлены статистически значимые положительные, отрицательные и отсутствие трендов по каждой характеристике

Для каждого поста была рассчитана доля характеристик, которые показывают статистически значимые положительные тренды (рис. 1). Видно, что в западной части Якутии рассмотренные характеристики зимнего стока стабильнее, чем в восточной и южной. В горных районах относительно близкорасположенные посты могут показывать противоположные тенденции.

На 31 посту из 100 не зарегистрировано ни одного положительного тренда из рассмотренных характеристик. 28 постов из 31 стоят на перемерзающих до дна реках. На 11 постах выявлены положительные тренды всех рассмотренных характеристик зимнего стока, из них 6 находится на постоянно текущих реках.

На рис. 3 видно, что в бассейнах рек Алдан, Индигирка, Лена, Олекма и Оленек на текущих постоянно реках выявлено больше положительных трендов зимнего стока, чем на перемерзающих реках. В бассейне р. Вилюй и перемерзающие, и текущие постоянно реки показывают невысокий процент гидрологических характеристик с выявленным положительным трендом. Из перемерзающих рек больше изменений происходит в бассейне р. Олекма, среди текущих постоянно – в бассейне р. Алдан.

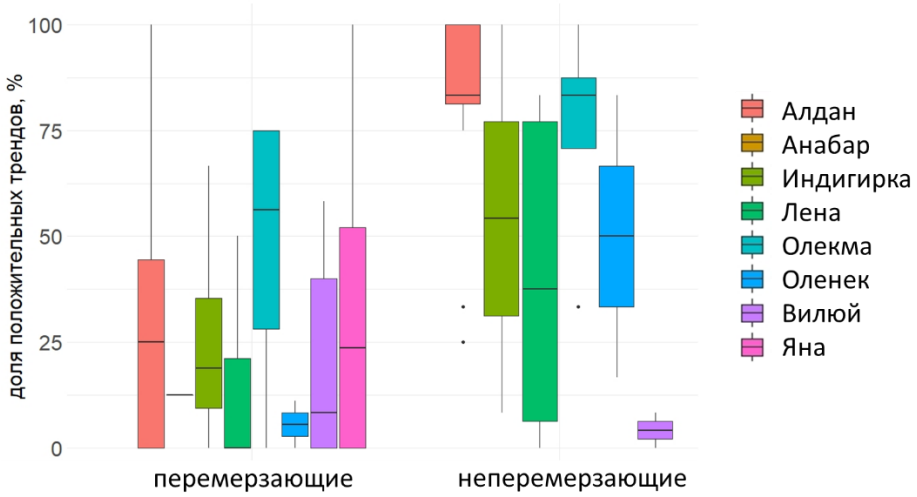


Рис. 3 Доля статистически значимых положительный трендов характеристик зимнего стока для перемерзающих и неперемерзающих рек в бассейнах рек Алдан, Анабар, Индигирка, Лена, Олекма, Оленек, Вилюй и Яна.

Благодарность. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (проект № 19-77-00055).

Литература

1. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России – СПб.; РГГМУ, 2001. – 209 с

СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АНТАРКТИДЫ

Лобанов В.А. [1], *Ризе Д.Д.* [2]

[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия
[2]ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», Санкт-Петербург, Россия

CURRENT CLIMATIC CHANGES OF THE THERMAL REGIME ANTARCTICA

Lobanov V.A. [1],*.Rize D.D* [2]
[1]Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russian Federation
[2]Federal State Budgetary Institution "Arctic and Antarctic Research Institute", St.Petersburg, Russian Federation

A study of long-term series of average monthly air temperatures at 25 meteorological stations of Antarctica from the beginning of observations to 2019 inclusive has been conducted. The gaps in the observations were restored and all the rows were extended to an almost equal period of 62 years on average. The long-term time series of mean monthly air temperature was approximated by statistical models of stationary and non-stationary average (linear trend and step changes). It is established that the percentage of effective non-stationary models is only 5-8% and they take place mainly in the warm season of the year and mainly at the meteorological stations of the Antarctic Peninsula. Even for effective non-stationary models, the growth of average values over a long-term period practically does not exceed the standard deviation (MSD) of long-term natural variations.

Проведено исследование многолетних рядов среднемесячных температур воздуха на 25 метеорологических станциях Антарктиды с начала наблюдений по 2019 г. включительно. Восстановлены пропуски наблюдений и все ряды приведены к практически одинаковому периоду в среднем 62 года. Осуществлена аппроксимация многолетних временных рядов среднемесячных температур воздуха статистическими моделями стационарного и нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения). Установлено, что процент эффективных нестационарных моделей составляет всего 5-8% и они имеют место в основном в теплый сезон года и в основном на метеостанциях Антарктического полуострова. Даже для эффективных нестационарных моделей рост средних многолетних значений практически не превышает СКО многолетних колебаний.

ВВЕДЕНИЕ

Антарктида вносит преобладающий вклад в криосферу Земли по сравнению с другими видами льда. Так 97,72% всей массы криосферы приходится на ледники и ледниковые покровы, из которых Антарктические льды составляют 90%, а льды Гренландии и Арктики всего 8% и еще 2% относится к горным ледникам [2,9]. Поэтому можно считать, что почти 88% всей ледяной массы или $2{,}16 \cdot 10^{16}$ т льда находится в Антарктике. При современном потеплении климата основной вопрос состоит в том, откликается ли криосфера, и конкретно Антарктика, на это потепление, влияющее на уменьшение массы ее льда и соответственно увеличение уровня Мирового океана. В прошлом, примерно 20 тыс. лет назад в позднеледниковье, при наибольшей массе льда на планете, уровень Мирового океана упал на 120 м, из который 40 м приходилось на

влияние оледенения Антарктики [7,8]. Если же начнется обратный процесс оттаивания льда, то рост уровня Мирового океана за счет таяния всех льдов Антарктиды составит 45-60 м, а дополнительный прирост уровня к концу 21 века можно ожидать уже до 1-5 м [12].

С другой стороны, чтобы оценивать будущий климат, необходимо понимать какие изменения климата наблюдались в прошлом без воздействия человека. Антарктида в этом плане является идеальным палеоклиматическим индикатором, т.к. ее лед формировался в течение миллионов лет и его химический и изотопный состав отражает свойства атмосферы далекого прошлого. Поэтому беспрецедентными по своей научной значимости явились проекты сверхглубокого бурения в Антарктиде: европейский проект EPICA и российский проект на станции Восток. Бурение на станции Восток в центральной части Восточной Антарктиды началось в 1970х годах на высоте 3490 м, где толщина льда составляет 3720 м. Европейский проект по ледовым кернам в Антарктике (EPICA) выполнялся в период 1996-2005 гг., когда были пробурены две скважины (DML и Dome C) одна из которых до глубины 3270 м. В результате по экспериментальным данным этих проектов удалось восстановить историю климата (изотопная температура, углекислый газ, метан) Антарктиды на протяжении почти 800 тыс. лет. Основные полученные результаты состоят в следующем [4,7,13]:

- наблюдаются хорошо выраженные циклы колебаний температуры воздуха со средними периодами в 100 тыс. лет и амплитудами около 15°С, имеющие короткие периоды подъема (10-20 тыс. лет), небольшую, примерно в 10 тыс. лет продолжительность максимума и продолжительные неоднородны периоды падения;
- установлено, что максимумы температуры в этих циклах опережали максимумы CO_2 примерно на 5-8 тыс. лет, что соответствует периоду полного перемешивания океанических вод.

Первая закономерность позволяет сделать вывод, что 100-тысячелетние циклы колебания эксцентриситета орбиты Земли являются превалирующими, хотя их вклад в приходящую солнечную радиацию оценивается всего в 4% и даже не принимался во внимание М.Миланковичем в его астрономической теории климата при расчете излучения Земли за последние 600 тыс. лет [7]. Отсюда следует, что климатическая система Земли не является равновесной и даже малые внешние воздействия могут приводить к существенным внутренним изменениям. Такое существенное усиление слабых внешних воздействий внутри климатической системы может быть объяснимо с помощью триггерного механизма, когда система сопротивляется малым внешним воздействиям до тех пор, пока их суммарный эффект не достигнет некоторого предельного значения и затем система скачком переходит на другой стабильный уровень. Еще один важный вывод из полученных 100-тысячелетних циклов колебания температур воздуха состоит в том, что последний цикл начался примерно 21 тыс. лет назад и достиг своего максимума 11 тыс. лет назад и все астрономические показатели (прецессия, угол наклона оси вращения планеты и эксцентриситет орбиты) свидетельствуют о том, что в ближайшие сотни - тысячи лет должна начаться ветвь спада, связанная с уменьшением притока солнечной радиации. Если принять, что период подъема последнего цикла закончился 11 тыс. лет назад, а продолжительность максимума цикла не более 10-15 лет, то в ближайшее время очень вероятно начало его падение. Поэтому тем более важно оценить, насколько реагирует температура земного «холодильника» на современное антропогенное потепление и успеет ли что-то в ней измениться в ближайшее время, тогда как в будущем вероятнее ждать снижения приходящей радиации. Именно оценка проявления современного изменения климата в температуре воздуха Антарктического континента и является целью данного исследования.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В качестве исходных данных рассматривались многолетние ряды среднемесячных температур воздуха на 25 метеостанциях Антарктиды с начала наблюдений по 2019 г. включительно, расположение которых показано на Рис.1, а сведения о координатах метеостанций, периоде и числе лет наблюдений – в Табл.1.

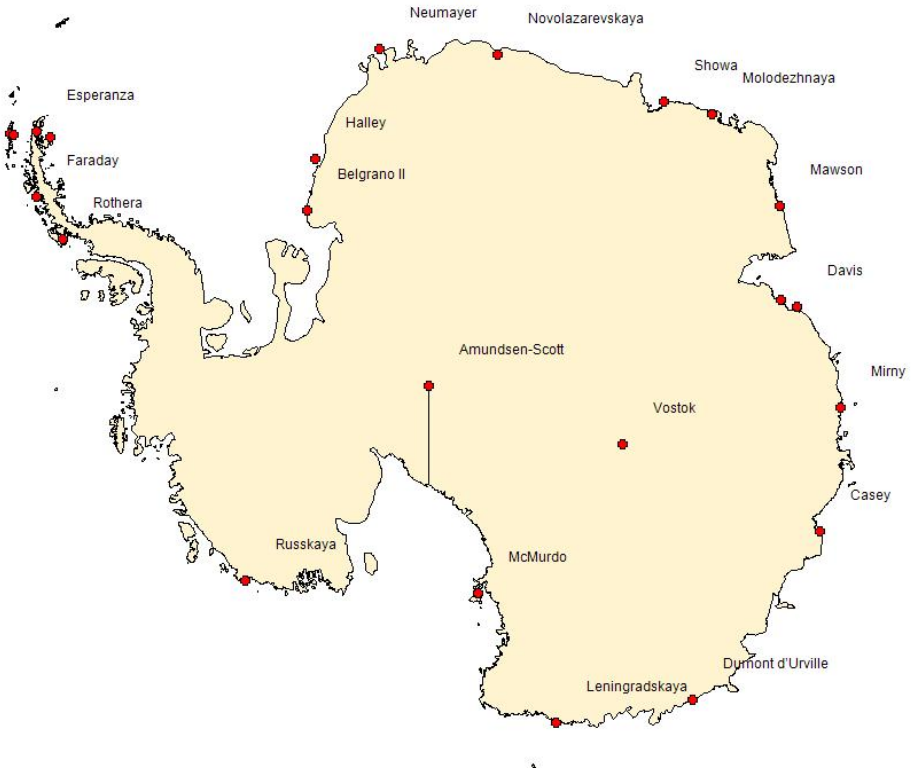


Рис.1. Схема размещения метеостанций на Антарктическом континенте
Fig. 1. Layout sketch meteorological station on Antarctic continent

Таблица 1

Сведения о координатах, периоде и числе лет наблюдений на метеостанциях Антарктического континента

Код поста	Наименование	Широта	Долгота	Наблюдения	
				период	число лет
88963	Эсперанса	**-63,4**	**-57**	1945 - 2019	72
89001	САНАЭ IV	-71,666	-2,85	1957 - 1992	36
89002	Ноймаер	-70,65	-8,25	1981 - 2019	39
89009	Амудсен-Скотт	-90	0	1957 - 2019	63
89022	Халли	-75,583	-26,65	1956 - 2019	64
89034	Бельграно II	-77,866	-34,633	1980 - 2019	40
89050	Беллинсгаузен	**-62,2**	**-58,966**	1968 - 2019	52
89055	Марамбио	**-64,23**	**-56,72**	1970 - 2019	50
89056	Чили	**-62,42**	**-58,88**	1969 - 2019	51
89062	Ротера	**-67,566**	**-68,116**	1946 - 2019	63
89063	Академик Вернадский, бывший Фарадей	**-65,25**	**-64,27**	1944 - 2019	72
89066	Сан-Мартин	**-68,133**	**-67,1**	1977 - 2019	40

89132	Русская	-74,766	-136,866	1980 - 1989	10
89512	Новолазаревская	-70,776	11,823	1961 - 2019	59
89532	Сёва	-69	39,583	1957 - 2019	61
89542	Молодежная	-67,683	46,133	1963 - 1999	37
89564	Моусон	-67,6	62,866	1955 - 2019	65
89571	Дэйвис	-68,583	77,966	1957 - 2019	59
89574	Прогресс	-69,383	76,383	1989 - 2015	15
89592	Мирный	-66,55	93	1956 - 2019	62
89606	Восток	-78,466	106,8	1958 - 2015	54
89611	Кейси	-66,283	110,516	1957 - 2015	59
89642	Дюмон-д'Юрвиль	-66,666	140,016	1950 - 2015	58
89657	Ленинградская	-69,5	159,383	1971 - 2008	21
89664	Мак-Мердо	-77,85	166,666	1956 - 2019	48

Как следует из рис.1, метеостанции достаточно равномерно распределены по побережью Антарктиды, но больше всего их на Антарктическом полуострове (7 метеостанций: 88963, 89050, 89055, 89056, 89062, 89063, 89066), а внутри материка расположены всего 2 метеостанции: Восток (89606) и Амудсен-Скотт (89009) на географическом полюсе. Из данных табл.1 следует, что периоды наблюдений на метеостанциях тоже разные и варьируют от 10-15 лет (метеостанции Русская 89132 и Прогресс 89574) до 72 лет на метеостанции 88963 Эсперанса.

Для надежного статистического моделирования необходимы продолжительные и непрерывные ряды наблюдений. Поэтому следующей решаемой задачей было восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов к единому многолетнему периоду, которое выполнялось по рядам-аналогам в соответствии с методикой, изложенной в работах [3,5,10]. При этом минимальное значение коэффициента корреляции для уравнений, по которым осуществлялось восстановление, задавалось равным R=0,8. Осредненные результаты приведения рядов среднемесячных температур воздуха к многолетнему периоду приведены в табл.2, где n – средняя продолжительность исходных рядов наблюдений за каждый месяц, Δn – число восстановленных лет, N – средняя продолжительность рядов после процедуры восстановления.

Таблица 2

Результаты приведения непродолжительных рядов наблюдений за среднемесячными температурами воздуха к многолетнему периоду

Хар-ка	Номер месяца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
n	47	46	45	44	45	47	44	45	45	45	47	46
Δn	13	15	12	19	18	18	21	18	19	17	15	14
N	60	61	57	63	63	65	65	63	64	62	62	60

Как следует из результатов табл.2, средняя продолжительность рядов наблюдений была увеличена с 44-47 лет до 57-65 лет в зависимости от месяца. Больше всего на 17-21 год была увеличена продолжительность рядов температур воздуха холодных месяцев года (с апреля по октябрь) и хуже всего (на 12-15 лет) продолжительность рядов теплого периода года (с ноября по март) для Южного полушария.

Проведенная оценка однородности эмпирических распределений среднемесячных температур воздуха, приведенных к многолетнему периоду, по критериям Диксона и Смирнова-Граббса [5,10,11] показала отсутствие в них резко отклоняющихся

неоднородных экстремумов, что вполне характерно для рядов климатических характеристик месячной дискретности.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В качестве простых статистических моделей можно рассматривать модели нестационарного среднего вида: случайные колебания + нестационарность среднего значения:

$$Y(t) = \varepsilon_i + Y_{cp}(t), \qquad (1)$$

где: $Y(t)$ – изменение климатической характеристики Y во времени t, ε_i– случайная составляющая, $Y_{cp}(t)$ - неслучайная составляющая или функция изменения среднего значения во времени.

Модель типа (1) является простой и предполагает, что колебания процессов межгодовых и десятилетних масштабов являются случайными, а сумма процессов столетнего масштаба (и других масштабов) и антропогенного воздействия проявляется в нестационарности среднего значения во времени.

На уровне рассмотрения простых моделей проявление изменений климата в многолетних временных рядах может быть двух основных видов:
- монотонные изменения в виде тренда или цикла,
- ступенчатые изменения, характеризующие переходы от одного стационарного состояния к другому.

Каждая из приведенных моделей аналитически представляется следующим образом. Прежде всего, базовая стационарная модель характеризуется неизменностью во времени основных параметров ряда (среднего значения и среднего квадратического отклонения), что выражается условиями:

$$Sr\,(t) = \text{const}, \quad \sigma(t) = \text{const}, \qquad (2)$$

где Sr и σ – среднее значение ряда и среднее квадратическое отклонение (СКО), t – время.

Наиболее распространенной при исследовании климатических изменений в настоящее время является модель линейного тренда, которая представляет собой однофакторное регрессионное уравнение климатической характеристики (Y) от времени (t):

$$Y(t) = b_1 t + b_0\,, \qquad (3)$$

где b_1, b_0 – коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов (МНК):

Статистическая значимость модели линейного тренда оценивается по статистической значимости коэффициента b_1 или коэффициента корреляции R зависимости (3). Статистическая значимость R определяется из условия $R \geq R^*$, где R^* - критическое значение коэффициента корреляции, определяемое по таблице при заданном числе степеней свободы (ν) и уровне значимости (α), где $\nu = n\text{-}2$, n - объем ряда, $\alpha = 5$ % [1].

Еще одним классом модели временного ряда, которая пока еще широко не распространена в климатологии, является модель ступенчатых изменений. Эта модель аналогична двум (или нескольким) стационарным моделям для двух (или нескольких) частей временного ряда, что характеризуется неизменностью во времени среднего значения и среднего квадратического отклонения для каждой части ряда:

$$Sr_1(t_1) = const1, \quad \sigma_1(t_1)=const1,$$

$$Sr_2(t_2) = const2, \quad \sigma_2(t_2)=const2, \tag{4}$$

где Sr_1, σ_1 – среднее значение и среднее квадратическое отклонение первой части ряда при изменении t_1 от 1 до t_n,
Sr_2, σ_2 – среднее значение и среднее квадратическое отклонение второй части ряда при изменении t_2от t_n+1 до n, n – объем ряда.

Момент ступенчатых изменений (t_n) определяется визуально или на основе дополнительной информации о факторе и дате нарушения стационарности (например, изменение индекса атмосферной циркуляции, даты смены регистрирующих приборов), а также может быть определен итерациями при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$\sigma_1^2(n_1-1)+\sigma_2^2(n_2-1)=min, \tag{5}$$

где n_1, n_2 – объемы каждой из двух частей временного ряда.

При этом следует задать минимальный объем первой части ряда, например, n_1=10 для которого $n_2 = n - n_1$ и затем последовательно увеличивать n_1 до m=n-10 при котором n_2=10, т.е. n_1=11, 12, ….. m. Иначе эту процедуру можно назвать методом расширяющегося окна

Следующим шагом является оценка эффективности нестационарных моделей по отношению к стационарной модели. Наиболее распространенной в регрессионном анализе мерой оценки эффективности любой модели является ее остаточная дисперсия, т.е. та доля исходной вариации, которую не удалось объяснить с помощью модели и чем она меньше и больше отличается от исходной вариации, тем модель лучше.

Для количественной оценки отличий модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарного среднего рассчитываются относительные погрешности или отклонения от стационарной модели по формулам:

$$\Delta_{тр} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_\varepsilon}{\sigma_y} \right) 100\%, \tag{6}$$

$$\Delta_{ступ} = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_{ступ}}{\sigma_y} \right) 100\%, \tag{7}$$

где $\Delta_{тр}$, $\Delta_{ступ}$ – относительные погрешности или отличия (в %) модели тренда и модели ступенчатых изменений от модели стационарной выборки; σ_y – стандартное отклонение исходного ряда (модель стационарного среднего); σ_ε , $\sigma_{ступ}$ – стандартные отклонения остатков относительно модели линейного тренда и ступенчатых изменений.

В первом приближении можно принять, что любая модель будет эффективнее модели стационарной выборки, если $\Delta \geq 10\%$, т.е. отличие между моделями гарантированной превышает погрешность процесса или погрешность рассматриваемой характеристики. Для оценки статистической значимости полученных отклонений от стационарной модели можно применить критерий Фишера, статистика которого для каждой из двух конкурирующих моделей по отношению к модели стационарной выборки вычисляются по формулам [6,7]:

$$F_{TP} = \frac{\sigma^2{}_Y}{\sigma^2{}_\varepsilon} \tag{8}$$

$$F_{СТУП} = \frac{\sigma^2{}_Y}{\sigma^2{}_{ступ}} \tag{9}$$

В случае, если расчетное значение статистики критерия Фишера, вычисленное по (8) и (9) больше критического при заданном уровне значимости и объеме ряда, то стандартное отклонение остатков рассматриваемой модели нестационарного среднего статистически значимо отличается от среднего квадратического отклонения (СКО) ряда наблюдений и поэтому модель нестационарного среднего эффективнее модели стационарной выборки.

Аппроксимация моделями стационарного и нестационарного среднего была выполнена для многолетних рядов температур воздуха каждого месяца и для каждой метеостанции и результаты для эффективных нестационарных моделей приведены в табл.3, где «Год ст.» - год ступенчатых изменений или перехода от одного стационарного полупериода к другому, определенный по (5). При этом моделирование выполнено как для фактических рядов наблюдений и рядов, приведенных к многолетнему периоду с целью сравнения результатов и выводов о годе ступенчатых изменений, который приводится в графе «Вывод». Жирным шрифтом в табл.3 выделены эффективные Δ (Δ>10%) и статистически значимые коэффициенты корреляции модели линейного тренда при α = 5 %.

Таблица 3

Показатели эффективности нестационарных моделей временных рядов среднемесячных температур воздуха на метеостанциях Антарктиды

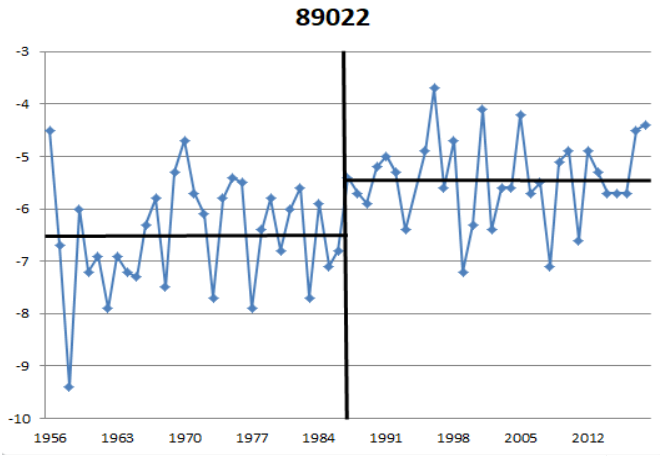
Код	наблюденные				восстановленные				Вывод
	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ступ}$	R	Год ст.	$\Delta_{тр}$	$\Delta_{ступ}$	R	Год ст.	
декабрь									
89022	**11.9**	**13.0**	**0,47**	1987	**12**	**13.4**	**0,48**	1987	1987
89034	8,0	**11,3**	**0,47**	1987	8.7	**10.7**	**0,41**	1994	1987
89056	**14.4**	**16.8**	**-0,52**	1996	**11.5**	**12.9**	**-0,47**	1996	1996
89063	**14.2**	**17.5**	**-0,51**	1983	**13.3**	**15.7**	**-0,50**	1983	1983
89574	**18,7**	0,0	**-0,58**	1974	0	0.8	0,02	1965	-
89606	8,3	**13,2**	**0,40**	1976	6,5	9,3	**0,35**	1976	1976
98611	3,7	**10,5**	0,27	1974	0	3,7	0,03	1992	-
январь									
88963	3,2	7.8	0,25	1991	**17,0**	**19,7**	**0,56**	1991	1991
89034	0,3	3,1	0,07	1996	7,7	4,0	0,17	1981	-
89062	1,5	3,2	**-0,17**	2009	5,1	**12**	**0,31**	1984	1984
89066	3,9	9,3	**-0,28**	2006	**18,5**	**23,4**	**0,58**	1982	2006
февраль									
88963	8,4	**15,5**	**0,40**	1987	8,6	**15,8**	**0,41**	1987	1987
89055	4,0	**14,0**	**0,28**	1987	7,8	**14,8**	**0,39**	1987	1987
89056	4,1	**11,6**	**-0,28**	2009	9,1	1,0	-0,16	2009	2009
89657	**12,3**	0,0	**-0,48**	1981	0,4	3,7	0,09	1975	-

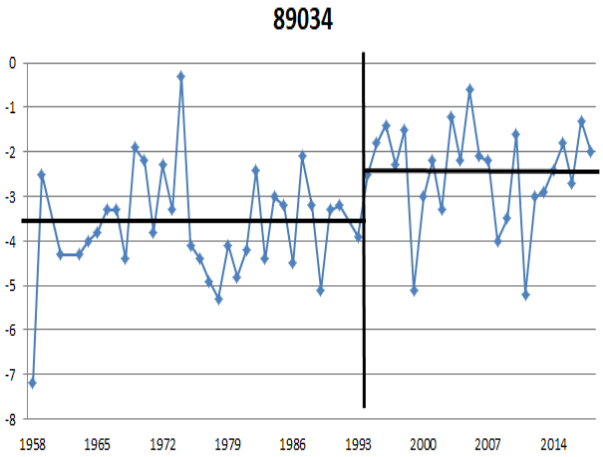
март									
89066	4,4	**11,9**	**0,29**	2004	3,9	6,9	**0,28**	2004	2004
апрель									
89022	2,0	7,4	-0,20	1983	7,0	**14,5**	**-0,37**	1990	-
89062	0,2	1,0	0,06	1991	**10**	**13.8**	**0.44**	1992	-
май									
89050	9,6	**12,1**	**0,43**	1989	5,5	**10,4**	**0,33**	1993	1989
89056	6,2	9,6	**0,35**	1993	6,1	**10,6**	**0,34**	1993	-
89062	**10,3**	**10,4**	**0,44**	1987	**12**	9,9	**0,48**	1982	1982
89066	**11,4**	**10,7**	**0,46**	1989	**12,6**	**12,1**	**0,49**	1981	1981
89542	**10,8**	**14,5**	**-0,45**	1985	7,4	6,7	**-0,38**	1985	1985
июнь									
89063	**13,1**	**12,9**	**0,49**	1977	**11,4**	**10,6**	**0,46**	1971	1971
июль									
89063	6,7	**11,4**	**0,36**	1988	7,2	**12,1**	**0,39**	1996	1996
август									
89063	**10,7**	**12,5**	**0,44**	1982	**10,1**	**12,5**	**0,44**	1982	1982
октябрь									
89034	**10,4**	**11,8**	**0,44**	1990	8,2	**12,6**	**0,40**	1968	1990
89062	3,3	4,4	0,42	1992	9,3	**11,6**	**0,42**	1992	1992
89664	**10,0**	9,7	**0,44**	1984	**12,2**	**12,4**	**0,48**	1997	1984
ноябрь									
89022	**17,1**	**17,3**	**0,56**	2006	**17,2**	**16,8**	**0,56**	1987	1989
89034	**12,8**	**12,0**	**0,49**	2006	**18,5**	**18,2**	**0,58**	1987	1987
89606	4,8	6,2	0,31	1988	**12,5**	**11,5**	**0,48**	1989	1989

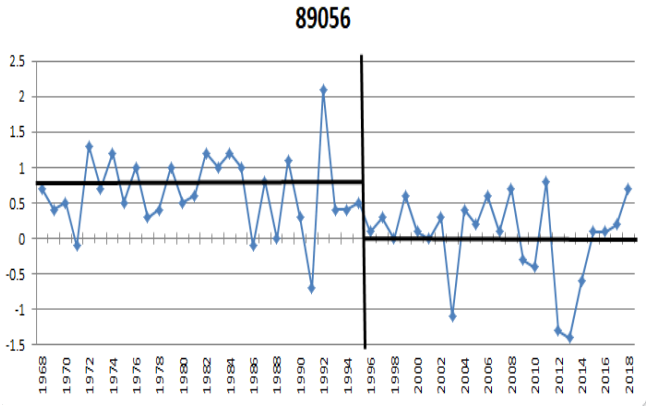
Из результатов табл.3 следует, что число эффективных нестационарных моделей не велико и в процентном отношении варьирует всего от 4,7% до 7,7% в зависимости от вида информации (исходная или приведенная к многолетнему периоду) и от вида модели. Процентное отличие стандарта остатков нестационарной модели от стационарной (Δ) также небольшое и максимум достигает 18-23% в месяцы теплого сезона с ноября по февраль, в среднем составляя 13-14%. Также можно отметить, что на некоторых метеостанциях наблюдается и падение температуры: в декабре на метеостанциях 89056 Чили и 89063 Фарадей на Антарктическом полуострове, в феврале на станции 89056 Чили, в мае на 89542 Молодежная.

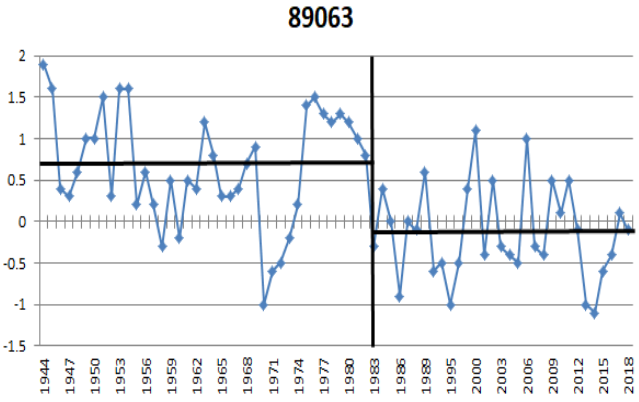
Эффективность модели ступенчатых изменений среднего значения выше, чем модели линейного тренда, т.к. число эффективных нестационарных моделей больше: 23 против 14 для модели тренда. Вместе с тем год ступенчатых изменений варьирует в широких пределах от 1976 г. до 2009 г. и в среднем равен 1988 году.

В большинстве случаев результаты, полученные по наблюденным рядам и рядам, приведенным к многолетнему периоду, не отличаются, т.к. число пропусков небольшое. Однако, когда число лет наблюдений невелико, как для метеостанции 89572 Прогресс (15 лет наблюдений), то результаты по данным наблюдений ненадежны и отличаются от восстановленных. Типичные временные ряды, аппроксимированные моделью нестационарных средних в виде ступенчатого перехода от одних стационарных условий к другим, приведены на рис.2.

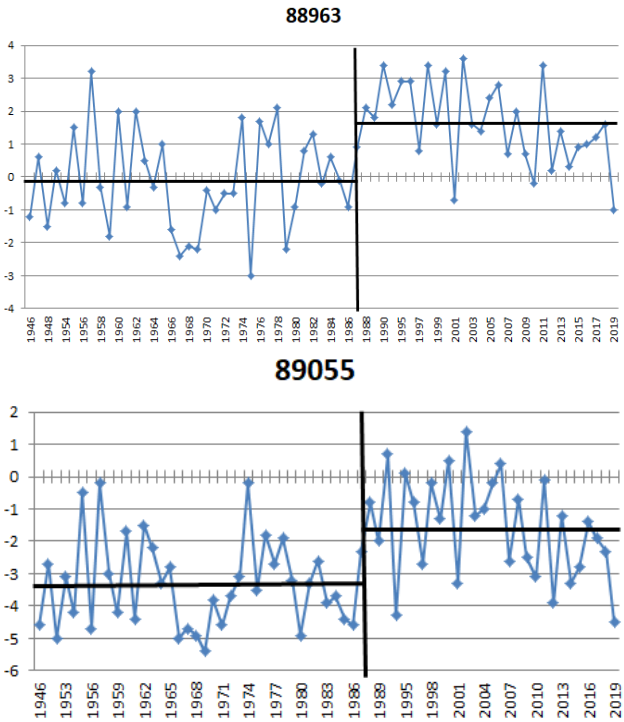

89022
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
1956
1963
1970
1977
1984
1991
1998
2005
2012


89034
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
1958
1965
1972
1979
1986
1993
2000
2007
2014

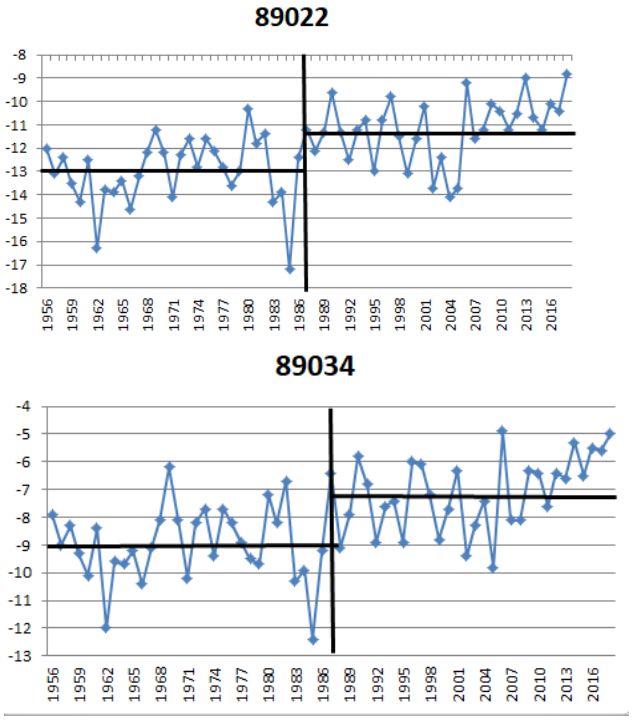

89056
2.5
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
1968
1970
1972
1974
1976
1978
1980
1982
1984
1986
1988
1990
1992
1994
1996
1998
2000
2002
2004
2006
2008
2010
2012
2014
2016
2018


89063
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
1944
1947
1950
1953
1956
1959
1962
1965
1968
1971
1974
1977
1980
1983
1986
1989
1995
2000
2003
2006
2009
2012
2015
2018

декабрь



февраль

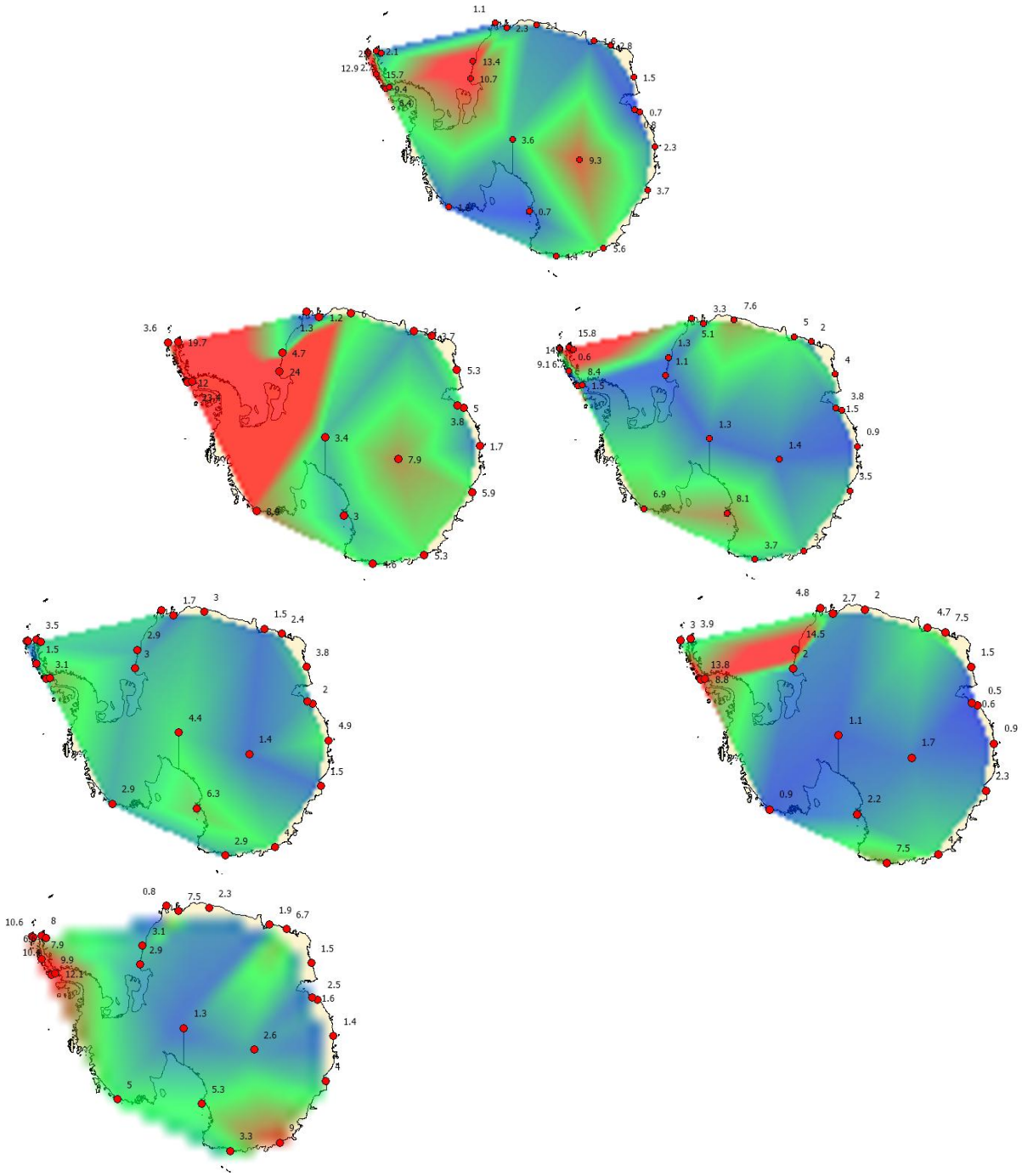


ноябрь

Рис. 2. Примеры аппроксимации временных рядов среднемесячных температур теплого сезона моделью ступенчатых изменений.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для выявления областей на территории антарктического континента, где имеют место эффективные нестационарные модели, была осуществлена пространственная интерполяция вычисленных показателей эффективности нестационарных моделей (Δ,%). В качестве примера пространственные распределения показателей Δ_{cmyn} в % для модели ступенчатых изменений и для всех месяцев года приведены на рис.3.



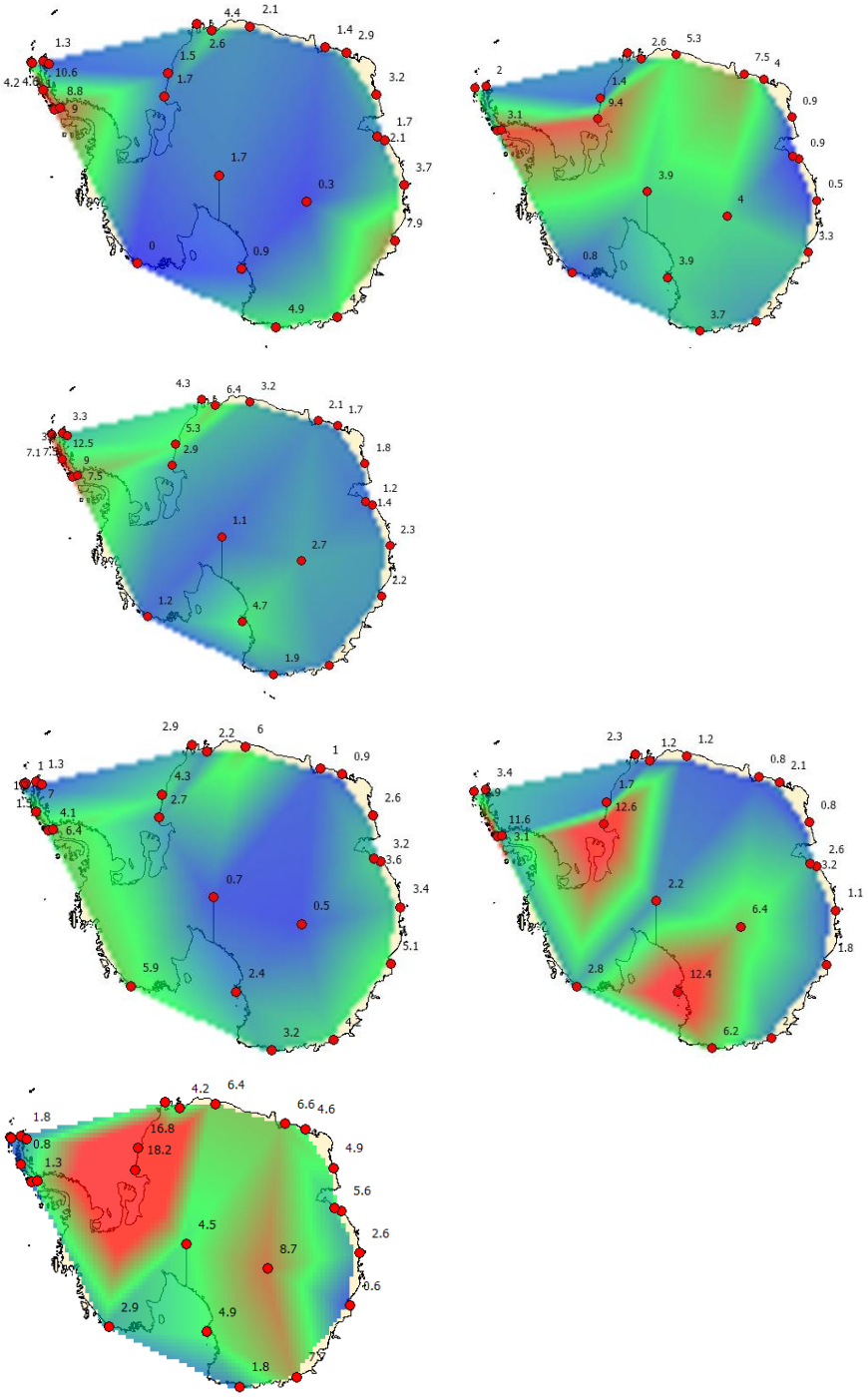


Рис.3. Пространственные распределения показателей эффективности нестационарных моделей ступенчатых изменений $\Delta_{ступ}$ в % для:
зимы: декабрь, январь, февраль (верхняя линия слева направо);
весны: март, апрель, май (вторая линия слева направо);
лета: июнь, июль, август (третья линия слева направо);
осени: сентябрь, октябрь, декабрь (нижняя линия слева направо),
где в легенде: красный цвет - $\Delta_{ступ}$ >10%, зеленый - 5%<$\Delta_{ступ}$ <10% и синий - $\Delta_{ступ}$ <5%.

Анализ пространственных распределений $\Delta_{ступ}$ позволяет сделать основной вывод, что область нестационарных моделей относится в основном к Антарктическому полуострову и имеет место только в теплый период (с октября по апрель) с наибольшей площадью в январе. Стационарные модели эффективны во все месяцы года для метеостанций на восточном побережье континента от станции 89002 Neumayer до станции 89592 Мирный. Во внутренних областях континента на станциях Амудсен-Скотт и Восток эффективные нестационарные модели также отсутствуют.

Количественная оценка изменений средних многолетних температур была осуществлена в виде относительной путем нормирования на СКО разности средних значений за два полупериода до и после установленного года ступенчатых изменений (ΔТ/СКО) для всех эффективных нестационарных моделей табл.3, полученных по восстановленным данным. Определение года ступенчатого перехода по (5) приводит к выявлению наибольшего изменения среднего значения во временных рядах. Результаты оценки приведены в табл.4, где: $X_{ср1}$, $X_{ср2}$ – средние температуры первой и второй частей ряда, n_1, n_2 – число лет первой и второй частей ряда, $\Delta T = X_{ср1} - X_{ср2}$ - изменение средней температуры, СКО – среднее квадратическое отклонение. В графе «Вывод» ставится знак «+», если изменение среднего превышает СКО, и знак «-», если не превышает.

Таблица 4

Оценка изменения средних многолетних температур по отношению к СКО.

код	месяц	$X_{ср1}$	n_1	$X_{ср2}$	n_2	ΔТ	СКО	ΔТ/СКО	Вывод
89022	12	-6,6	31	-5,4	31	+1,2	1,10	1,09	+
89034	12	-3,5	27	-2,6	30	+0,9	1,35	0,67	-
89056	12	0,6	32	0,1	23	+0,5	0,61	0,82	-
89063	12	0,6	38	0,0	31	-0,6	0,75	0,67	-
89606	12	-32.7	17	-31,1	38	+1,6	1,55	1,03	+
88963	1	1,2	40	2,0	26	+0,8	1,10	0,73	-
89062	1	1,7	30	1,4	31	-0,3	0,90	0,33	-
89066	1	2,0	46	1,6	14	-0,4	1,10	0,36	-
88963	2	-0,2	37	1,5	30	+1,7	1,65	1,03	+
89055	2	-3,6	37	-1,6	30	+2,0	1,75	1,14	+
89056	2	1,5	43	0,9	11	-0,6	0,65	1,08	+
89066	3	-1,4	43	-0,6	16	+0,8	1,75	0,46	-
89022	4	-21,5	34	-23,6	30	-2,1	2,98	0,70	-
89062	4	-3,2	42	-2,7	25	+0,5	1,79	0,28	-
89050	5	-4,3	40	-3,1	31	+1,2	2,00	0,60	-
89056	5	-4,2	44	-2,7	27	+1,5	1,90	0,79	-
89062	5	-7,1	35	-4,5	35	+2,6	2,99	0,87	-
89066	5	-9,1	34	-5,1	36	+4,0	4,16	0,96	-
89542	5	-14,0	22	-16,4	31	-2,4	2,20	1,09	+
89063	6	-7,6	26	-5,0	45	+2,6	2,84	0,91	-
89063	7	-9,4	49	-6,5	23	+2,9	4,19	0,69	-
89063	8	-10,3	38	-7,1	33	+3,2	3,32	0,96	-
89034	10	-15,6	33	-14,1	27	+1,5	2,43	0,62	-
89062	10	-5,5	48	-5,2	27	+0,3	2,28	0,13	-
89664	10	-19,1	27	-17,8	18	+1,3	2,18	0,60	-
89022	11	-12,9	33	-11,2	30	+1,7	1,68	1,01	+
89034	11	-8,9	31	-7,1	32	+1,8	1,60	1,12	+
89606	11	-43,2	28	-42,0	25	+1,2	1,94	0,62	-

Как следует из результатов табл.4, только для 8 из 28 эффективных нестационарных моделей наблюдаемое изменение среднего значения несколько превышает естественную изменчивость и то ненамного и эти изменения имеют место для теплого периода, где и СКО меньше, чем для холодного периода года. В общем же

наибольший рост средних многолетних температур составляет 3-4°С в холодный сезон и 1,5-2°С в теплый сезон.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, выполненное исследование дает важный вывод о том, что температура воздуха в Антарктике пока еще практически не подвержена воздействию глобального антропогенного потепления и не очень существенные изменения средних температур, практически не превышающие СКО, имеют место в теплый и в основном на территории Антарктического полуострова. Поэтому ожидать массового летнего таяния льда Антарктиды и связанного с ним подъема уровня мирового океана пока не приходится. Вместе с тем мониторинг динамики температуры воздуха ледового континента осуществлять необходимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. – 598 с.
2. Котляков В.М. Мир снега и льда - М.: Наука, 1994, 286 с.
3. Лобанов В.А., Лемешко Н.А., Жильцова Е.Л., Горлова С.А., Ренева С.А. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на Европейской территории России. Метеорология и гидрология, №2, 2005, с.5-14.
4. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010, с.73-88.
5. Лобанов В.А., И.А.Смирнов. А.Е.Шадурский Практикум по климатологии. Часть 1. (учебное пособие). Санкт-Петербург, 2011. – 144 с.
6. Лобанов В.А., И.А.Смирнов. А.Е.Шадурский Практикум по климатологии. Часть 2. (учебное пособие). Санкт-Петербург, 2012. – 141 с.
7. Лобанов В. А. Лекции по климатологии. Часть 2. Динамика климата. Кн.1. СПб.: изд-во РГГМУ, 2016. - 332 с.
8. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 2 Динамика климата. Кн. 2 в двух книгах: учебник. – СПб: изд-во РГГМУ, 2018 – 377 с.
9. Мельников В. П. К созданию цельного образа криосферы. // Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, № 4, с. 3-12
10. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. Москва, Госстрой России, 2004 – 73 с.
11. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 78с.
12. J. Hansen, M. Sato, P. Hearty, R.Ruedy, M.Kelley, V. Masson-Delmotte, G.Russell, G. Tselioudis, J. Cao, E. Rignot, I. Velicogna, E. Kandiano, K. von Schuckmann, P. Kharecha, A. N. Legrande, M. Bauer, and K.-W. Lo Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modeling, and modern observations that global warming is highly dangerous Atmos. Chem. Phys. Discuss., 15, 20059–20179, 2015 www.atmos-chem-phys-discuss.net/15/20059/2015/doi:10.5194/acpd-15-20059-2015
13. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change). 2013. The physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Firth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley (eds). Cambridge University Press: Cambridge, p 1552.

О ПОТЕНЦИАЛЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Лубков А.С., Сухонос О.Ю.
ФГБНУ "Институт природно-технических систем" г. Севастополь, Россия

ABOUT THE POTENTIAL USE OF WIND ENERGY RESOURCES IN THE CRIMEAN PENINSULA

Lubkov A.S., Sukhonos O. Yu.
Institute of Natural and Technical Systems, Sevastopol, Russia

С использованием ежечасных данных о скорости ветра из реанализа ERA5 (10м и 100м) за период 1980–2019 гг. дана климатическая оценка современного состояния ветровых ресурсов Крымского полуострова.

Using hourly wind speed data from the ERA5 reanalysis (10m and 100m) for the period 1980–2019 the climatic assessment of the current state of the wind resources of the Crimean peninsula is given.

Введение. На сегодняшний день развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является одним из актуальных вопросов экологии и энергетического сектора. Это обусловлено уменьшением запасов ископаемого топлива и влиянием традиционных источников энергии на климатическую систему. В отчетах Росгидромета [1] и МГЭИК [2] отмечается существенное смягчение антропогенного воздействия на климатическую систему при переходе на ВИЭ, так как их использование не связано с эмиссией парниковых газов в атмосферу.

По данным Единой энергетической системы (ЕЭС) России [3] установленная мощность солнечных и ветровых электростанций на территории России в настоящее время составляет меньше 1% от ЕЭС (1547 МВт), при этом всего 184 МВт (0.08% от ЕЭС) вырабатываются ветровыми электростанциями. Тем не менее, к 2024 году планируется повысить вклад генерации ВИЭ в общую вырабатываемую энергию до 4.5%, что соответствует 5.9 ГВт (вклад ветровой энергии составит 3.4 ГВт) [4]. В то же время вопрос об определении перспективных территорий для размещения ветроэнергетических установок, в том числе на Крымском полуострове, на региональном масштабе окончательно не решен.

Согласно работе [5], сегодня в Крыму сконцентрировано практически 50% всей вырабатываемой ветровой электроэнергии России. Оценки ветровых характеристик полуострова были исследованы с точки зрения экстремальных скоростей ветра, приводящих к сильному волнению на море [6]. В то же время ветроэнергетические ресурсы полуострова не изучались. В связи с этим существует необходимость дать современную климатическую оценку ветровых ресурсов на территории полуострова, что и является целью настоящего исследования.

Данные и методика. Достаточно детальную информацию о ветроэнергетических ресурсах можно получить из Глобального атласа ветра (Global Wind Atlas), представленного в электронном виде [7]. Проект предоставляет ветроэнергетические характеристики с пространственным расширением 250 м на 5 высотах. Тем не менее, атлас рассчитан на основе 10-летнего периода 2008–2017 гг., что недостаточно для учета климатических особенностей.

Поэтому для анализа ветровых ресурсов будем использовались ежечасные данные о скорости ветра (u- и v-компоненты) за 40-летний период (1980–2019 гг.) на высоте 10 и

100 метров представленные в реанализе ERA5. За счет достаточно высокого пространственного разрешения (0.25°×0.25°), этот массив данных позволяет учесть большинство географических особенностей Крымского полуострова. Крым представлен 47 узловыми точками реанализа.

В качестве характеристики ветровых ресурсов в работе использовался модуль скорости ветра. Он вычислялся для каждого часа данных реанализа.

Известно, что мощность ВЭУ зависит от мощности ветрового потока (N) рассчитываемого по формуле:

$$N = \frac{1}{2}\rho S V^3 , \quad (1)$$

где ρ – плотность воздуха (1,23 кг/м^3), S – ометаемая воздухом площадь, для вертикальных ВЭУ зависящая от диаметра лопастей установки (S = πD^2/4), и V – скорость ветра. При этом, исходя из закона Ланчестера-Беца-Жуковского [8] о максимальной мощности ВЭУ, которую можно получить из мощности ветрового потока, КПД любой ВЭУ технически ограничено константой 59.3%. Из формулы (1) очевидно, что мощность ВЭУ определяется геометрическими особенностями ВЭУ (размер лопастей установки) и скоростью ветра возведенной в куб. В связи с чем в работе рассчитывались среднегодовое и ежемесячные поля куба ветра за многолетний период.

Из [9] известно, что вырабатываемая ВЭУ мощность нелинейно зависит от скорости ветра. В среднем стартовая скорость ветра равна 3 м/с, а при скоростях выше 9 м/с установка вырабатывает номинальную (установленную) мощность. В случае превышения скорости ветра более 25 м/с в большинстве ветроустановок срабатывает автоматическая тормозная система. Для оценки длительности условий, при которых ВЭУ не эффективна и при которых ВЭУ вырабатывает номинальную мощность, были построены ежемесячные и среднегодовые поля повторяемости скорости ветров ниже 3 м/с и в диапазоне 9–25 м/с.

Результаты и обсуждение. Рассмотрим среднемноголетние поля распределения величин скорости ветра на территории Крыма за период 1980–2019 гг. для месяцев с максимальной и минимальной скоростью ветра и в среднем за год. Из рис.3а видно, что максимальные скорости ветра наблюдаются в декабре, а минимальные – в июне, поэтому анализ проводился для этих месяцев. Для центральной части Крыма свойственны ветра со скоростью 3–4 м/с в среднем за год на высоте 10 м над поверхностью и 4–6 м/с на 100 м. Горный массив и Южный берег Крыма (ЮБК) характеризуются наиболее низкими скоростями ветра 2–3 м/с на высоте 10 м и 3–5 м/с на 100 м (рис. 1в). При этом по данным [7] на вершинах гор и крымских яйлах (вершинные плато) скорости ветра могут достигать в среднем за год более 10 м/с (рис. 1г). Для западного побережья Крыма и Тарханкутского полуострова свойственны более высокие скорости ветра, равные 4–6 м/с на 10 м и 5–8 м/с на 100 м. При этом в декабре (рис. 1а) скорости заметно выше, чем в июне (рис. 1б). Высокие значения скорости ветра наблюдаются на территории Керченского полуострова. Тут скорость ветра в среднем в декабре (рис. 1а) на высоте 10 м равна 5–7 м/с, а на высоте 100 м – 7–9 м/с. В июне же для Керченского полуострова характерны скорости ветра 4–5 м/с на 10 м и 5–7 на 100 м (рис. 1б).

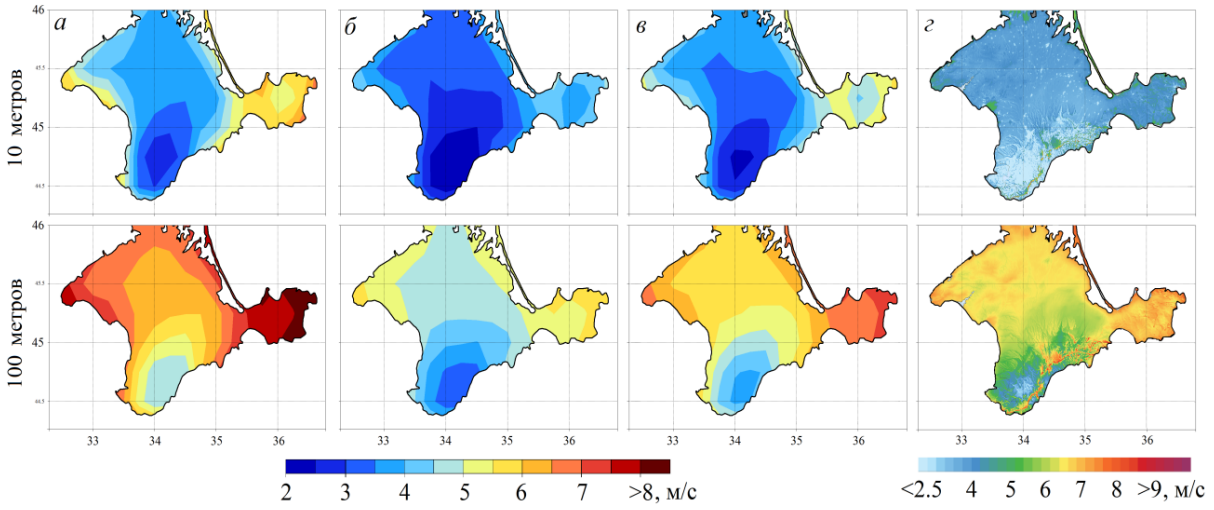


Рис. 1. Среднемноголетние (1980–2019 гг.) поля скорости ветра на высотах 10 м и 100 м над поверхностью для декабря (а) и июня (б) и в целом за год (в) по данным реанализа ERA5 и за 10-летний период (2008–2017 гг.) за год по данным [7] (г)

Далее рассмотрим среднемноголетние величины куба ветра на Крымском полуострове (рис. 2а). Практически для всего Крыма величины на высоте 10 м равны 40–120 $(м/с)^3$, за исключением его западного побережья и Керченского полуострова. На территории Керченского полуострова величины куба ветра находятся в пределах 160–340 $(м/с)^3$. На высоте 100 м величины куба ветра в центральной части Крыма равны 200–400 $(м/с)^3$, в горах – 100–150 $(м/с)^3$ и на территории Керченского полуострова – 550–800 $(м/с)^3$. Повторяемость ветров, скорость которых меньше 3 м/с, на высоте 10 м для ЮБК, предгорной и центральной части Крыма равна 39–73% (3400–6400 часов/год) и 16–25% (1400–2600 часов/год) для западного побережья и Керченского полуострова. При этом на высоте 100м на всей территории Крымского полуострова повторяемость таких ветров равна 10–15%, за исключением крымских гор, где она достигает 41% (рис. 2б), однако, исходя из данных [7], на вершинных плато процент "неэффективных" ветров значительно ниже.

Пространственная структура поля повторяемости скорости ветра в диапазоне 9–25 м/с (рис. 2в), схожа с распределением куба ветра. В центральной части Крыма и в районе гор на высоте 10м таких скоростей ветра практически не наблюдается. На территории Керченского полуострова такой ветер повторяется 4–12% (300–1100 часов в году). На высоте 100м повторяемость скорости ветра в диапазоне 9–25 м/с составляет 5–14% (400–1200 часов/год) в центральной части анализируемого региона и 24–36% (2100-3150 часов/год) на Керченском полуострове.

Более подробное изучение ветроэнергетических характеристик с акцентом на населенные пункты и их потенциальное обеспечение ветроэнергетикой рассмотрено в работе авторов [10].

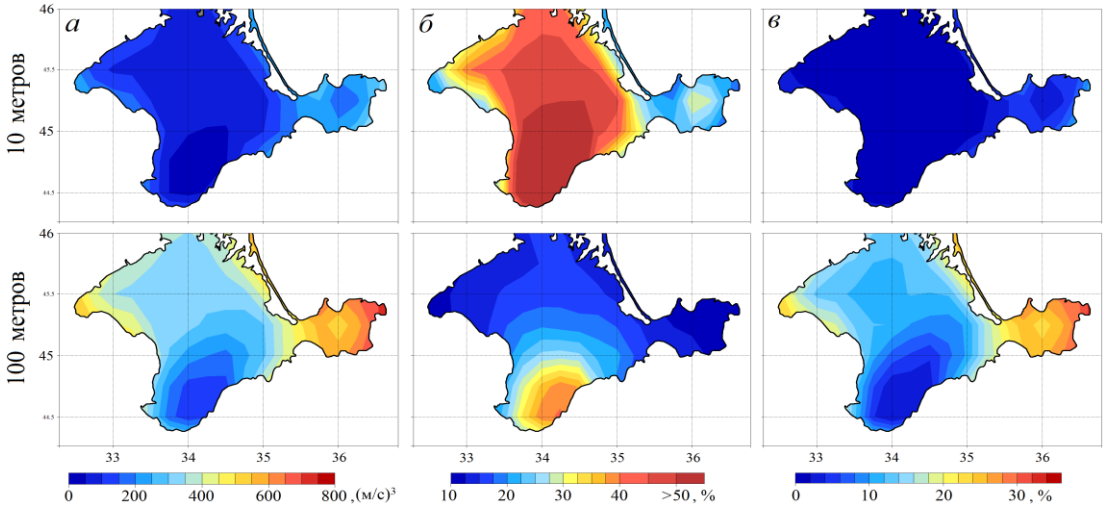


Рис. 2. Среднемноголетние поля куба ветра (а) и повторяемости скоростей ветра менее 3 м/с (б)
и в диапазоне от 9 до 25 м/с (в) на высоте 10 м и 100 м за период 1980–2019 гг.

Далее в среднем для Крыма был проанализирован суточный и годовой ход изменения ветровых условий. Анализ годового хода скорости ветра на высотах 10 м и 100 м (рис. 3*а*) показал, что скорость ветра в зимнее время выше на 31% для 10 м и 35% для 100 м, чем в летнее. Такие сезонные изменения скорости ветра могут быть связаны с увеличением циклонической активности в холодное время года [11].

Рассмотрим суточный ход изменения скорости ветра. На высоте 10 м можно отметить различие в скоростях ветра: дневные скорости заметно выше относительно ночных. В дневное время суток наблюдается увеличение скорости ветра на 6% в декабре и 21% в июне (рис. 3*б*). На высоте 100 м отмечается незначительный суточных ход. В декабре скорость ветра практически не зависит от времени суток, а в июне минимальные скорости наблюдаются в 8 часов (MSK), а максимальные – в 17 (рис. 3*в*). Такой характер суточного хода может говорить о том, что в реанализе ERA5, вероятно, учитывается бризовая (суточная) циркуляция воздуха.

Заключение. На основе ежечасных данных реанализа ERA5 выполнена климатическая оценка ветровых ресурсов Крымского полуострова за 40-летний период. Показано, что величины скоростей ветра в среднем в центральной части Крыма равны 2–6 м/с, что заметно ниже, чем на западном побережье (4–8 м/с) и на территории Керченского полуострова (5–9 м/с). При этом ветровые условия Керченского полуострова – наиболее эффективны для ветрогенерации. Повторяемость скоростей ветра, характерных для номинальной выработки ветроэнергетических установок, тут составляет 4–12% на высоте 10 м и 24–36% (чем ближе к Керченскому проливу – тем выше повторяемость) на высоте 100 м. При этом повторяемость неэффективных ветровых условий, когда скорость ветра недостаточная для запуска ветроустановки, не превышает 17–22% на 10 м и 10–15% на 100 м. В центральной части Крыма и ЮБК повторяемость неэффективных ветровых условий на высоте 10м превышает 40% в год.

В результате анализа суточного хода установлено, что на высоте 10 м скорость ветра в дневные часы, по сравнению с ночными, в среднем выше на 21% в июне и на 6% в декабре. На высоте 100 м суточный ход заметно не выражен.

Выявленные сезонные особенности изменения скорости ветра на высотах 10 и 100 м характеризуют увеличение на 31–35% рассматриваемого климатического параметра в зимний сезон, относительно летнего.

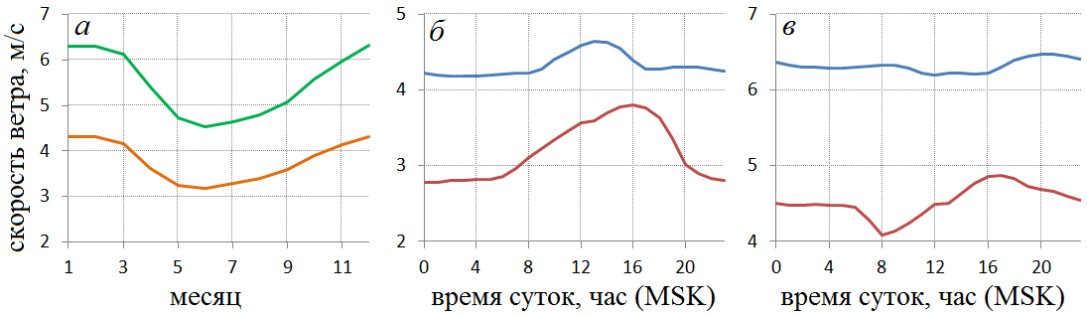


Рис.5. Внутригодовая изменчивость (а) на высоте 10 м (оранжевая линия) и 100 м (зеленая линия) и суточный ход скорости ветра на высоте 10 м (б) и 100 м (в) над поверхностью в декабре (синяя линия) и июне (красная линия)

Литература

1. *Алексеев Г.В.* Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Г.В. Алексеев, М.Д. Ананичева, О.А. Анисимов [и др.], 2014. М. Росгидромет. 1008 с.

2. *IPCC*, 2011: Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Chapter 3. Direct Solar Energy. P. 341–343.

3. *Анализ* показателей балансов электрической энергии и мощности ЕЭС России за IV квартал 2019 года URL: http://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/reports/ups-review/2020/ups_balance_analysis_2019q4.pdf (дата обращения 17.08.2020).

4. *Распоряжение* Правительства РФ от 8 января 2009 г. N 1-р Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2024 года URL: http://government.ru/docs/20503/ (дата обращения 17.08.2020).

5. *Гусева Е.В.*. Развитие ветроэнергетики в России и Крыму / А.Ю. Шалимов, А.Ю. Богомолов, А.В. Михненко [и др.] // Энергетические установки и технологии, 2019, №2 (5). С. 52–55.

6. *Горячкин Ю.Н., Репетин Л.Н.* Штормовой ветро-волновой режим у Черноморского побережья Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2009. № 19. С. 56–69.

7. *Global* Wind Atlas URL: https://globalwindatlas.info/ (дата обращения 28.08.2020)

8. *Gijs A.M.* The Lanchester–Betz–Joukowsky limit // Wind Energy. 2007. V.10(3). P. 289–291.

9. *Попель О.С., Фортов В.Е.* Возобновляемая энергетика в современном мире: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ. 2015. 450 с.

10. Лубков А.С., Сухонос О.Ю. Исследование ветроэнергетических ресурсов Крымского полуострова по ежечасным данным реанализа ERA5 // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 3 (41). С. 23–29.

11. *Voskresenskaya E.N., Maslova V.N.* Winter–spring cyclonic variability in the Mediterranean–Black Sea region associated with global processes in the ocean–atmosphere system // Adv. Sci. Res. 2011. V. 6. P. 237–243

СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ УСТЬЯ Р.КОЛЫМЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ЛЕТНЕЙ ЭКСПЕДИЦИИ В 2019 Г.

Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Сазонов А.А., Ефимов В.А., Василенко А.Н.
Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

CURRENT HYDROLOGICAL STATE OF THE MOUTH OF THE KOLYMA RIVER BASED ON THE MATERIALS OF THE SUMMER EXPEDITION IN 2019

Magritsky D.V., Frolova N.L., Agafonova S.A., Sazonov A.A., Efimov V.A., Vasilenko A.N.
Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Летом 2019 г. в устье Колымы состоялась комплексная гидрологическая экспедиция кафедры гидрологии суши МГУ. Во время нее измерялись расходы, уровни, температура и электропроводность воды, глубины, отобраны пробы воды на анализ и мутность. Получены важные результаты.

In the summer of 2019, a complex hydrological expedition of the Department of Land Hydrology of MSU took place at the mouth of the Kolyma river. During it, the discharges, levels, temperature and electrical conductivity of water, depths were measured, water samples were taken for analysis and turbidity. Important results were obtained.

Общие сведения и актуальность исследования. Устье р.Колымы – одно из наименее изученных (в гидрологическом плане) в России. Тогда как через него проходит 125 км^3 воды в год, или почти 58% общего поступления речных вод в Восточно-Сибирское море и 4,3% в российские арктические моря. Это главная река северо-восточного сектора Российской Арктики с площадью водосбора 643 тыс. км^2. Вместе с водой в море выносятся наносы, растворенные соли, включая загрязняющие вещества, но далеко не все, поскольку устье служит для них маргинальным барьером. Огромный тепловой сток Колымы (~4600×10^{12} кДж) оказывает мощное отепляющее влияние не только на долину и дельту реки, но и на морское взморье.

Последние десятилетия у р.Колымы характеризуются серьезными климатически обусловленными и антропогенными изменениями годового и сезонного стока воды, наносов и теплоты, максимальных и минимальных расходов воды [2, 6, 7, 9, 10, 14]. Во-первых, водный сток реки увеличивается с середины 1990х гг., и этот рост (за единый для всех арктических рек период с 1976 г., по сравнению с условно естественными 1936-1975 гг.) составил 6,4% (по состоянию на 2017 г.). Это явное следствие естественных изменений температурно-влажностных условий на водосборе Колымы [1] и, возможно, деградации многолетней мерзлоты с высвобождением замерзшей воды [13]. Во-вторых, произошло межсезонное перераспределение стока воды и на 174% увеличение водности зимней межени (пост Среднеколымск). Здесь главная причина – эксплуатация 2-х крупных водохранилищ – Колымского (с 1980-1989 гг., 1893 км от моря) и Усть-Среднеканского (с 2013-2018 гг., в 1677 км). В-третьих, сток взвешенных наносов испытал две волны мощного антропогенного воздействия: с 1940х гг., под влиянием масштабной горнодобывающей деятельности (прежде всего в верхнем и частично среднем течении), он заметно увеличился, затем, с выводом Колымского гидроузла на проектные характеристик (с 1989 г.), он сократился (в 1,9 раз в 1990-1997 гг.; после 1997 г. наблюдения за стоком наносов в нижнем течении прекратились) и не восстанавливается вплоть до устьевого участка. В-четвертых, климатически обусловленный нагрев речных вод (в июне-сентябре на 0,4-1,0^{o}C) и техногенное уменьшение водности половодья разнонаправлено влияют на тепловой сток Колымы в ее устье, уменьшив его на 6,3% (по состоянию на 2012 г.), несмотря на увеличение

летом-осенью на 8,8%. В-пятых, золотодобывающие предприятия способны негативно влиять на фоновые гидрохимические условия.

В основном об этих изменениях мы можем судить по материалам мониторинга на стоковом посту Среднеколымск – на границе среднего и нижнего течений р.Колымы. На верхней границе устьевого участка с 1977 по 2008 гг. функционировал стоковый пост Колымское-1 (он считался замыкающим створом). Но уже с середины 1990-х гг. реальных измерений расходов воды на нем не проводили. В настоящее время здесь только уровенные наблюдения. Таким образом, на протяжении 641 км (от Среднеколымска до моря) и, в первую очередь, в пределах протяженного устьевого участка (длиной 282 км), включающего дельту длиной 120 км и площадью 3700 км^2, принимающего два самых больших притока р.Колымы – рр. Омолон и Анюй (со множеством горнодобывающих предприятий в их бассейнах), мы имеем очень ограниченное и устаревшее представление о характере продольной трансформации этих изменений и реальных величинах гидрологических характеристик на границах реки и моря, о способности влиять стока Колымы на морские гидрологические процессы и региональный климат. При том, что по расчетам авторов, водный сток Колымы увеличивается от Колымского-1 (в 9 км ниже впадения Омолона) к морю в 1,19 раз, а от Среднеколымска – в 1,71 раз. Второй причиной повышенного внимания к устью р.Колымы стало практически полное отсутствие натурных сведений о протекающих здесь устьевых гидрологических процессах, их реакции на меняющиеся условия формирования и транзита стока на водосборе, гидрологический режим Восточно-Сибирского моря. И это несмотря на еще сохранившуюся здесь экономическую активность и размещение нескольких крупных населенных пунктов, портовую инфраструктуру и судоходство, необходимость поддерживать их эффективность и безопасность. Третья причина – это решение актуальной (для гидрологического сообщества) проблемы увязки ДДЗ и контактных гидрологических измерений с выходом на новый, более информативный и оперативный уровень гидрологического мониторинга.

Одним из решений получения необходимых гидрологических сведений служат комплексные экспедиционные измерения летом 2019 г. Основной их целью было исследование трансформации стока и мутности воды, тепла, растворенных веществ на участке от впадения р. Омолон до мс Амбарчик на морском побережье. В XX в. эпизодические измерения расходов воды и другие гидрологические работы в устье Колымы выполнялись в 1929, 1934-1937 (ГУСМП), 1953-1954 (Арктикпроект) и 1991 гг. (ААНИИ, Д.Ю.Большиянов, В.П.Зимичев) [3, 4, 12]. Также то, что мы знали до недавнего времени, например, о распределение расходов воды по рукавам дельты Колымы, было получено в том числе и, главным образом, расчетными и гидравлическими методами [4, 5, 11]. 11 и 16 августа 2017 г. ряд измерений выполнил сотрудник кафедры гидрологии суши МГУ Школьный Д.И.

Основные итоги экспедиционных работ. Экспедиционные работы на устьевом участке р.Колымы, состоящем из придельтового отрезка (между устьем р.Омолона (пост Колымское) и пос.Черским – в вершине дельты (ВД) и многорукавной, неприливной дельты, проводились с 24 июля по 21 августа 2019 г. Местом базирования отряда выбрана Северо-Восточная научная станция РАН (рук. С.А.Зимов) в пос. Черском, на р.Пантелеихе. Программа работ и оборудование состояли из: 1) обустройства 4-х временных водомерных постов (от Нижнеколымска до Амбарчика), оборудованных логгерами Solinst; непрерывных измерений уровней, температуры и электропроводности воды на них (приборы - Solinst, YSI Pro, МАРК и водомерная рейка); 2) выполнения промерных работ эхолотным комплексом LOWRANCE; 3) периодических измерений в рр. Колыма, Омолон, Анюй и Пантелеиха, дельтовых

рукавах (на постоянных гидростворах) расходов воды с использованием ADCP River Ray; 4) определение высотных отметок и уклонов в р.Колыме при помощи GNSS – оборудования (фирмы Leica) (в режиме статики и быстрой статики); 5) систематического измерения на опорном гидростоворе (ниже впадения в Колыму р.Пантелеихи и напротив пристани в Черском) расхода воды, температуры и электропроводности - по всей ширине русла и на разных глубинах; 6) отбора проб воды для лабораторного анализа химического состава и содержание взвесей; установки в русле оригинальных ловушек для взвесей; 7) рекогносцировочного обследования реки, дельтовых рукавов, устьевого взморья и берегов, в т.ч. с помощью квадрокоптера. Всего 24 створа.

Работы проводились в условиях летне-осеннего меженно-паводочного сезона (для рек с восточно-сибирским типом водного режима), нарушаемого сбросами из Колымского водохранилища. Погодные условия по начало августа имели циклональный тип с атмосферным давлением от 995 до 1015 гПа, частыми осадками, температурой воздуха от 4 до 10^{o}C, сильным ветром (преобладали ветры северных румбов). После они сменились на антициклональный тип с более теплой и сухой погодой, давлением вплоть до 1025 гПа, температурой от 7,5 до 20^{o}C.

Во время экспедиции на конец июля – начало августа (с пиком 6-7 августа) наблюдался подъем уровня воды в Колыме, затем – постепенный спад до 12-13 августа и снова началось его быстрое повышение (до 15-16 августа). Амплитуда колебаний составила около 60 см. В пределах всей дельты было отмечено влияние на ход уровня нагонных явлений, усиливающееся с продвижением к морю (посты в Нижнеколымске, Черском, Крае Леса и Амбарчике). Причем оно проявляет себя двояко – на внутри- и межсуточном временном масштабе и более продолжительно – с учетом «муссонного» характера ветров на арктическом побережье: летом – превалируют сильные ветра в направлении с холодных арктических морей на нагретую сушу, поддерживая, таким образом, высокое стояние уровней в устьях арктических рек.

Мониторинг температуры воды, который проводился в разных пунктах по длине р.Колымы и ее дельтовых рукавов, в устьях Омолона, Анюя и Пантелеихи, на Стадухинской протоке, по всей ширине гидростворов, на разных глубинах, показал: 1) ее изменения, прежде всего, вслед за изменениями температурой воздуха в диапазоне от 13 до 9,5 ^{o}C в первой части работ (тенденция – охлаждение), с ростом до 15-16^{o}C – во второй; 2) явную внутрисуточную изменчивость в диапазоне от 0,1 до 2 ^{o}C; 3) охлаждающее и далеко распространяющееся вниз по течению охлаждающее влияние вод крупных рр. Омолона и Анюя на воды р.Колымы - в виде шлейфа более холодных вод, прижатых к правому берегу (с разницей температур воды у левого и правого берега Колымы сразу ниже устья Омолона – до 1,5^{o}C, ниже Анюя – до 1,2^{o}C, в створе Черского – до 1^{o}C); 4) разнонаправленное влияние на температурные характеристики вод малых притоков, например Пантелеихи. В условиях циклональной холодной погоды воды Пантелеихи оказывали, как и Анюя, охлаждающее в створе Черского влияние на прибрежную зону у правого берега Колымы. А с установлением антициклональной теплой погоды быстро нагревшиеся воды Пантелеихи обусловили скачок температуры на 3,5^{o}C в узкой 200-метровой прибрежной зоне, тогда как от левого до правого берега температура по всей ширине Колымы (до 3 км) снижалась на 1-1,5^{o}C (в диапазоне от 14,5 до 12,8^{o}C) из-за более холодных анюйских вод. Это ставит вопрос о репрезентативности данных мониторинга за температурой воды на посту Черский, расположенном как раз на правом берегу. В целом, на малых водотоках после антициклонального периода нагревания наблюдались температуры воды на 2-5℃ выше, чем в р. Колыма. Различия поверхностной и придонной температуры воды в Колыме не превышали 0,1-0,2℃.

Изучение трансформации содержания растворенных веществ в воде Колымы производилось на всем протяжении ее устьевого участка – через измерения электропроводности воды. Было зафиксировано ее уменьшение 28 июля – 1 августа от вершины устьевой области (выше впадения Омолона) с 190-200 до 150-165 мкСм/см к верхней части дельты - из-за «распресняющего влияния» омолонских и анюйских вод (имеющих электропроводность 80-85 и 75 мкСм/см) и снова увеличение к морю до 170 мкСм/см (и выше) в нижней части дельты, по сути, в передней зоне устьевого смешения речных и морских вод. Проникновения соленых морских вод на глубине не обнаружено. По словам жителей Черского, до вывода Колымского г/у на проектную мощность во время сильных нагонов и меженных расходов воды морские воды могли достигать Черского и нарушать водоснабжение поселка. В настоящее время этого нет.

Большой и важный блок гидрологических работ составили измерения расходов воды – всего 39 измерений – на Колыме – выше и ниже впадения в нее притоков и проток, в устьях притоков (рр. Омолон, Анюй и Пантелеиха), в вершине дельты, в истоках основных дельтовых рукавов. Измерения выполнялись синхронно, несколькими сериями и сопровождали остальные гидрологические работы. В вершине дельты (основной гидроствор), напротив пос.Черский и ниже впадения Пантелеихи было проведено 8 измерений расходов (по 2-3 трека, с 26 июля по 16 августа). Диапазон изменений расходов воды составил от 7210 (10.08) до 10100 $м^3$/с (16.08). Для сравнения, средний многолетний расход воды на посту Колымское-1 3340, а в море – около 4000 $м^3$/с. Очень важными представляются сведения по расходам воды в уникальной Стадухинской протоке, которая впадает в Колыму выше пос.Черский, с левого берега. Протока отделяется от основного русла Колымы выше впадения р. Омолон, ниже сливается с протоками Дуванная и частично с Лакеевской, течет параллельно основному руслу Колымы на протяжении всего придельтового участка. Ранее расходы в ней не измерялись и неизвестны. Во время экспедиции расходы в ней варьировались от 550 до 800 $м^3$/с, или от 7,6 до 9,4% от расхода воды Колымы в ВД. Получены также важные сведения о трансформации расходов воды между устьем Омолона и ВД, благодаря 2-м сериям измерений. Обнаружена невязка в 300 $м^3$/с, пока мало объяснимая. В дельте главная роль рук.Каменной Колымы сохраняется. На нее приходилось от 65 до 70% стока Колымы в ВД (с уменьшением доли при увеличении водности Колымы – при значениях 8000-10000 $м^3$/с); остальное уходит в Походскую Колыму. Если сопоставлять с данными прошлых измерений и расчетов [11], положениями теории устьевых процессов, то можно говорить о том, что Каменная Колыма, во-первых, активный рукав, во вторых, он увеличил свою долю - на 5% и, возможно, больше.

По длине р. Колыма наибольшие средние скорости течения по измеренным расходам наблюдались выше впадения р. Омолон и составили 0,78 м/с (измерения 1 августа). Средние скорости закономерно снижаются к устью и составили 0,50–0,55 м/с в створе выше впадения Анюя и 0,34–0,49 м/с ниже Черского.

За время экспедиции было отобрано 89 пробы воды на изучение химического состава и определение весовой мутности. Оптическая мутность определялась сразу на вертикали с помощью НАСН. Ранее было известно [9], что сооружение Колымского водохранилища уменьшило мутность воды и расходы наносов Колымы на всем ее протяжении. Но измерения стока наносов на постах прекратились в конце 1990-х гг. (кроме поста в Усть-Среднекане). И было неизвестно, как на сток наносов повлиял ввод в строй Усть-Среднеканского гидроузла (с 2013-2018 гг.), рост температуры воздуха и воды, изменения водного режима Колымы, ослабление многолетней мерзлоты и усиление термоэрозионных процессов. Оказалось, что мутность в Колыме 26 июля – 1 августа 2019 г. была очень высокой выше впадения Омолона – 350 мг/л. Ниже по

течению она из-за смешения с менее мутными водами Омолона (16 мг/л) и Анюя (8-13 мг/л), снижения уклонов водной поверхности и подпора со стороны моря заметно снижалась – до 117 мг/л в Черском, 21 мг/л в Каменной Колыме (Край Леса) и 56 мг/л – в Походской Колыме (выше Походска). Причем вблизи берегов, из-за механического и термоэрозионного размыва грунтов, стекания очень мутных ручьев наблюдалось значительное увеличение мутности – до 350-170 мг/л в сравнении с 70 мг/л в реке (створ Дуванного Яра). Предварительный анализ спутниковых снимков (с 1981 г.), показал, что с выходом Колымы на равнину, сложенную мощных ледовым комплексом, за счет этого фактора с конца 1990-х и, особенно, с начала 2000-х гг. происходит существенное увеличение мутности воды, возможно уже перекрывающее влияние водохранилищ. Подобное обнаружено в низовьях Лены [8]. В Стадухинской протоке – 56 мг/л. Концентрации тяжёлых металлов и микроэлементов в воде не превышали ПДКрх и незначительно изменялись по длине устьевого участка.

Благодарности. Исследования выполнены за счет грантов РФФИ Арктика 18-05-60021 и 18-05-60219 (материалы по мутности воды, химическому составу). Отдельная благодарность Сергею Афанасьевичу, Галине Михайловне, Никите, и Анастасии Зимовым за прекрасные условия для размещения и успешной работы экспедиционного отряда.

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромете об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Москва, 2014. 1008 с.
2. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И.Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
3. Гиляров Н.П., Иванов В.В. Водный режим дельты реки Колымы по лабораторным исследованиям // Тр. ААНИИ. 1967. Т.278. С. 22-38.
4. Иванов В.В. Метод гидравлического расчета элементов водного режима в дельтах рек // Тр. ААНИИ. 1968. Т.283. С. 30-63.
5. Иванов В.В., Котрехов Е.П. Опыт численного моделирования неустановившегося движения воды в многорукавной дельте реки // Тр. ААНИИ. 1976. Т.314. С. 16-35.
6. Магрицкий Д.В. Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. 2008. Т.35. №1. С.3-16.
7. Магрицкий Д.В. Тепловой сток рек в моря Российской Арктики и его изменения // Вестник Московского ун-та. Сер.5. География. 2009. №5. С.69–77.
8. *Магрицкий Д.В.* Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. 2015. №6. С.85–95.
9. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности пространственной и многолетней изменчивости поступления речных наносов в моря Российской Арктики // Вопросы географии. Сер. География полярных регионов. 2016. Вып. 142. С.444-466.
10. Магрицкий Д.В. Климатические обусловленные и антропогенные изменения стока воды основных рек Российской Федерации в их низовьях и морских устьях // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2018. С.285-294.
11. Пискун А.А. Методика расчета водного и руслового режима в сложно разветвленных дельтах рек при отсутствии данных наблюдений за русловыми деформациями. СПб., 2002. 155 с.
12. Самбуренко И.З. Материалы по гидрологии реки Колымы // Труды ААНИИ. 1938. Т. 105. С. 183–235.
13. Davydov S.P. Global warming, permafrost and contemporary biochemical cycles: the Kolyma lowland, northeastern Siberia // Climate change. Europe, Northern Asia, and North America. 4th European Dialogue in Evian, 2011. Pp. 49-58.

Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M. Long-term changes of river water inflow into the seas of the Russian Arctic sector // Polarforschung. No 87 (2). 2018. Pp. 177-194.

КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГЛАВНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РФ

Магрицкий Д.В.
Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

CLIMATE-RELATED AND ANTHROPOGENIC CHANGES IN THE SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF OF THE MAIN ARCTIC RIVERS OF SIBERIA AND THE RUSSIAN FAR EAST

Magritsky D.V.
Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

По данным о расходах воды и наносов по почти 200 постам за весь период наблюдений и вплоть до 2017 г. изучены особенности и выявлены современные тенденции многолетних колебаний мутности воды и расходов взвешенных наносов на рр. Колыма, Лена, Енисей и Обь, их главных притоков.

Based on data on water discharges and sediment yield for almost 200 gauges for the entire observation period and up to 2017, the features and current trends of long-term fluctuations in water turbidity and suspended sediment yield in the Kolyma, Lena, Yenisei and Ob rivers, their main tributaries, were studied.

Закономерности многолетних колебаний мутности воды и расходов взвешенных наносов на замыкающих створах Колымы, Лены, Енисея и Оби рассмотрены через призму особенностей и природно-антропогенных причин пространственно-временной изменчивости характеристик стока наносов на всей бассейновой территории. При решении второй задачи была создана база расходов воды и наносов по почти 200 постам за весь период наблюдений и вплоть до 2017 г., построены карты пространственного распределения характеристик стока и их отклонений от величин 1940-1970-х гг., многочисленные диаграммы многолетнего и внутригодового хода, оценена трансформация воздействия водохранилищ на сток наносов по длине Колымы, Вилюя, Енисея и Оби, критериально проверена статистическая достоверность обнаруженных изменений, исследован характер связи расходов воды и наносов, показатели межгодовой вариативности и др. Установлено, что, несмотря на доминирование рек и районов с современным увеличением водного стока, огромные по площади территории показывают статистически значимое снижение стока наносов, например до 30-70% в 2001-2017 гг. (в сравнении с 3-й четвертью XX в.) в бассейне Оби (рис. 1) до 40-50% (2004-2017 гг.) в 2-х выделенных зонах в бассейне Лены (рис. 2,3) и. Оно не может быть объяснено лишь сокращением масштабов природопользования в стране и регионе, начиная с 1990х гг., и еще более ранним созданием водохранилищ и прудов. Тем не менее, в бассейне Колымы оно присуще, главным образом, золотодобывающим участкам (рис. 4), в бассейне Оби – с сельскохозяйственной специализацией. Выявлены реки с аномальным и продолжительным увеличением мутности воды при мало изменившейся водности. Одной из причин этих «странностей», требующей в дальнейшем отдельного изучения, могут быть инструментально-методические нарушения однородности рядов наблюдений. Тем не менее, снижение стока наносов в верховьях Лены, в бассейне Алдана и у зарегулированного Вилюя не мешает самой реке показывать его значительный рост на замыкающем створе (на 6,1 млн т в 1988-2010 гг.) за счет увеличившегося стока наносов правобережных притоков (ниже по течению от р.Киренги), активизации размыва берегов, сложенных ММП. Похожая ситуация наблюдается и в устье зарегулированной Оби, которая, несмотря на удержание до 91% наносов в чаше Новосибирского водохранилища, зарегулирование стока Иртыша и его

крупных притоков, преобладающее на притоках верхней и средней части бассейна сокращение стока наносов, не только восполняет (на участке Новосибирская ГЭС – Салехард) потерю наносов (рис. 5), но и реагирует на увеличение водности реки ростом расходов взвешенных наносов, правда пока статистически незначимым. В низовьях и устьях зарегулированных Енисея и Колымы обратная ситуация – сток наносов главных рек благодаря водохранилищам уменьшился (в 3,2 раза (1970-2017 гг.); в 1,25 раз (1981-1989 гг.) и 1,9 раз (1990-1997 гг.)) и по длине этих рек полностью не восстанавливается (рис. 5). Тогда как в том же бассейне Колымы, начиная с середины 1990х гг., увеличение стока наносов на большинстве неосвоенных притоках составило от 10 до 20% (и больше), по сравнению с величиной в 1941-1977 гг., и во все сезоны года. Выявленные тенденции (впервые на таком объеме данных и с охватом огромной территории с включением внутренних районов арктических водосборов) противоположны тем многолетних изменениям, которые присущи стоку наносов на замыкающих створах (ЗС) главных арктических рек. А ведь именно по ЗС большинство отечественных и зарубежных исследователей судят о характере реакции условий формирования и стока наносов арктических рек на климатические изменения и деградацию ММП. Более детальный анализ собранных уникальных данных и обнаруженных тенденций, поиск их причин будут продолжены в 2021 гг.

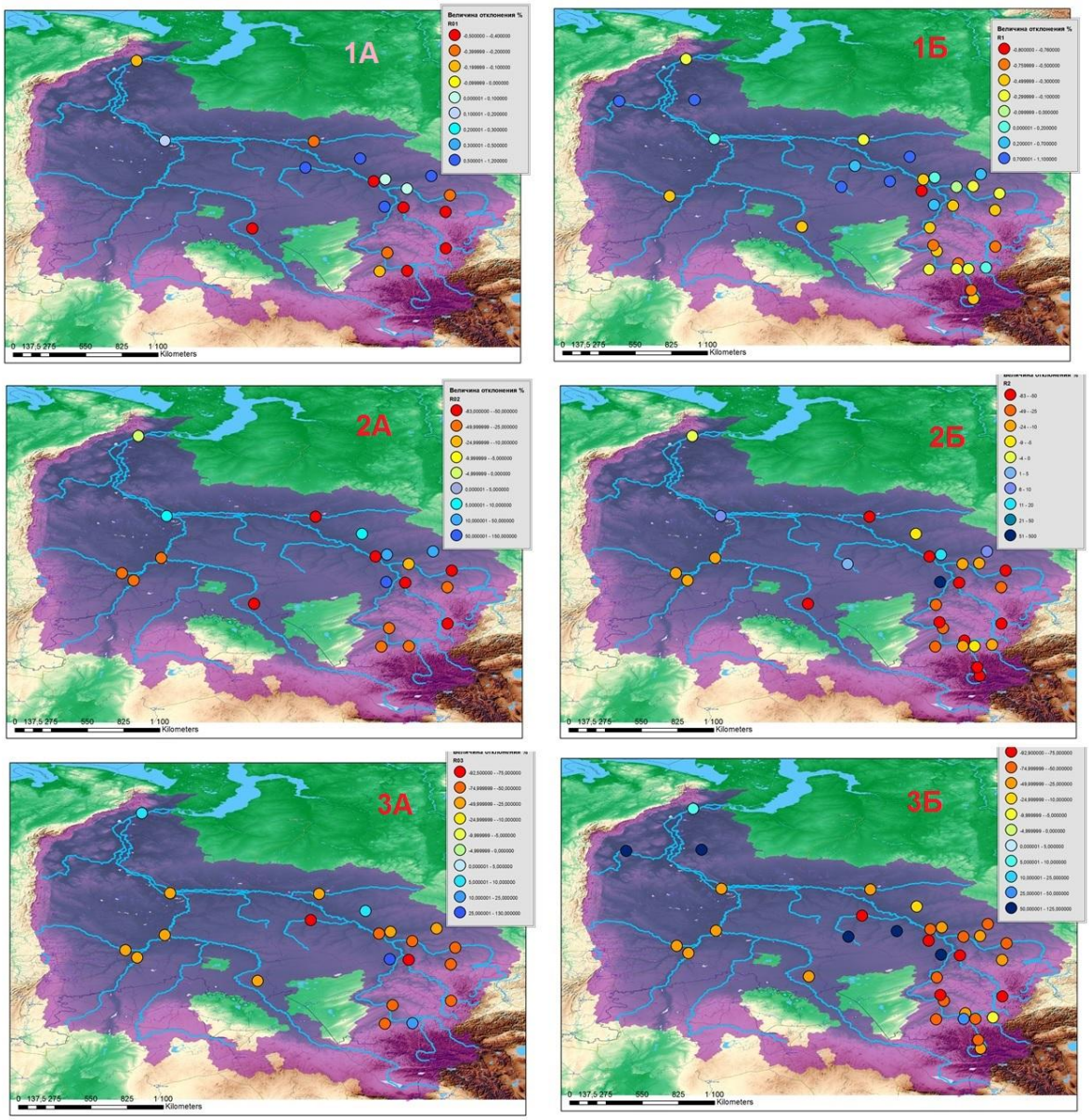


Рис. 1. Величины изменения годового стока взвешенных наносов рек в бассейне Оби в 1981-1990 гг. (1), 1991-2000 гг. (2) и 2001-2017 гг. (3) в сравнении с величиной стока в 1954-1980 гг. (А) и 1962-1980 гг. (Б)

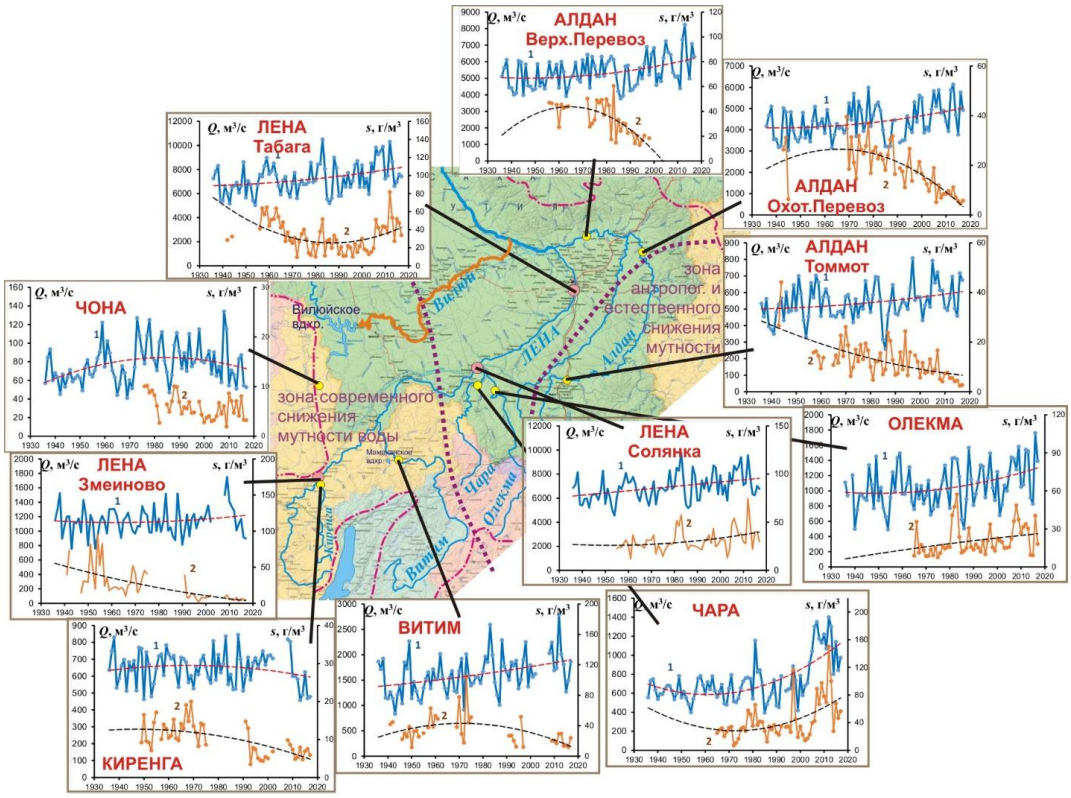


Рис. 2. Многолетние изменения среднегодовых расходов воды (1) и мутности воды (2) на постах в верхней и средней частях бассейна Лены с трендами за 1936-2017 гг. и указанием зон современных тенденций изменения мутности воды и расходов наносов и зарегулированного участка среднего и нижнего Вилюя (светло коричневая линия)

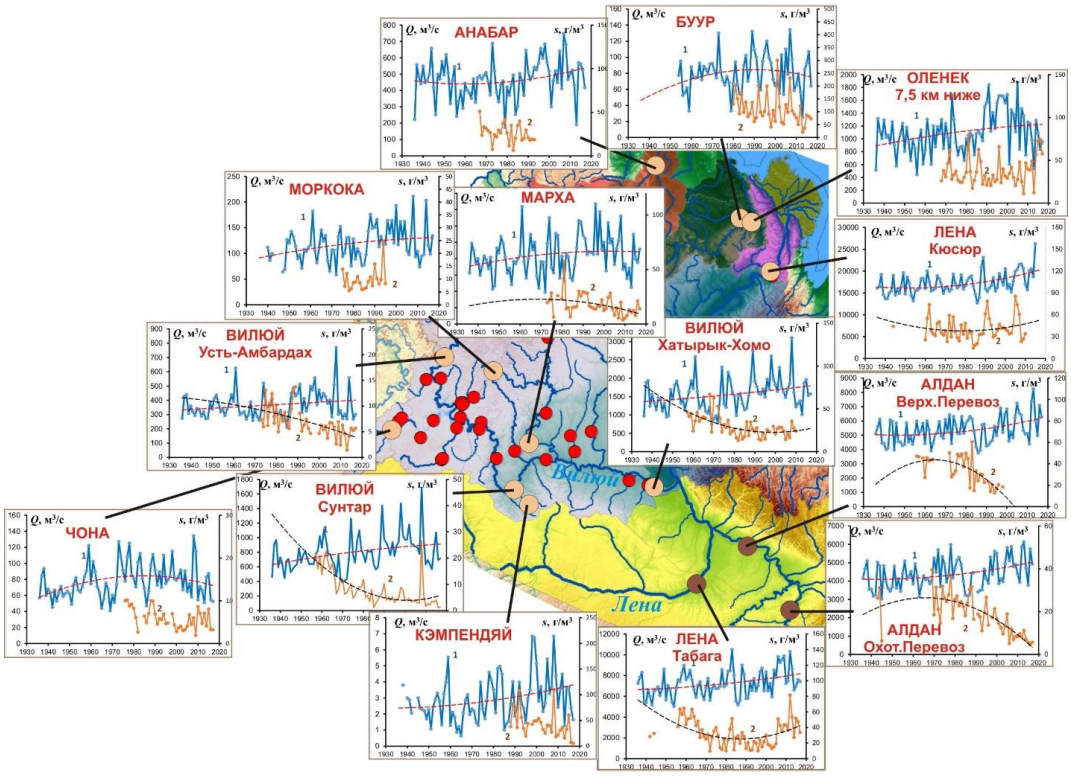


Рис. 3. Многолетние изменения среднегодовых расходов воды (1) и мутности воды (2) на постах в нижней части бассейна Лены и указанием зон современных тенденций изменения

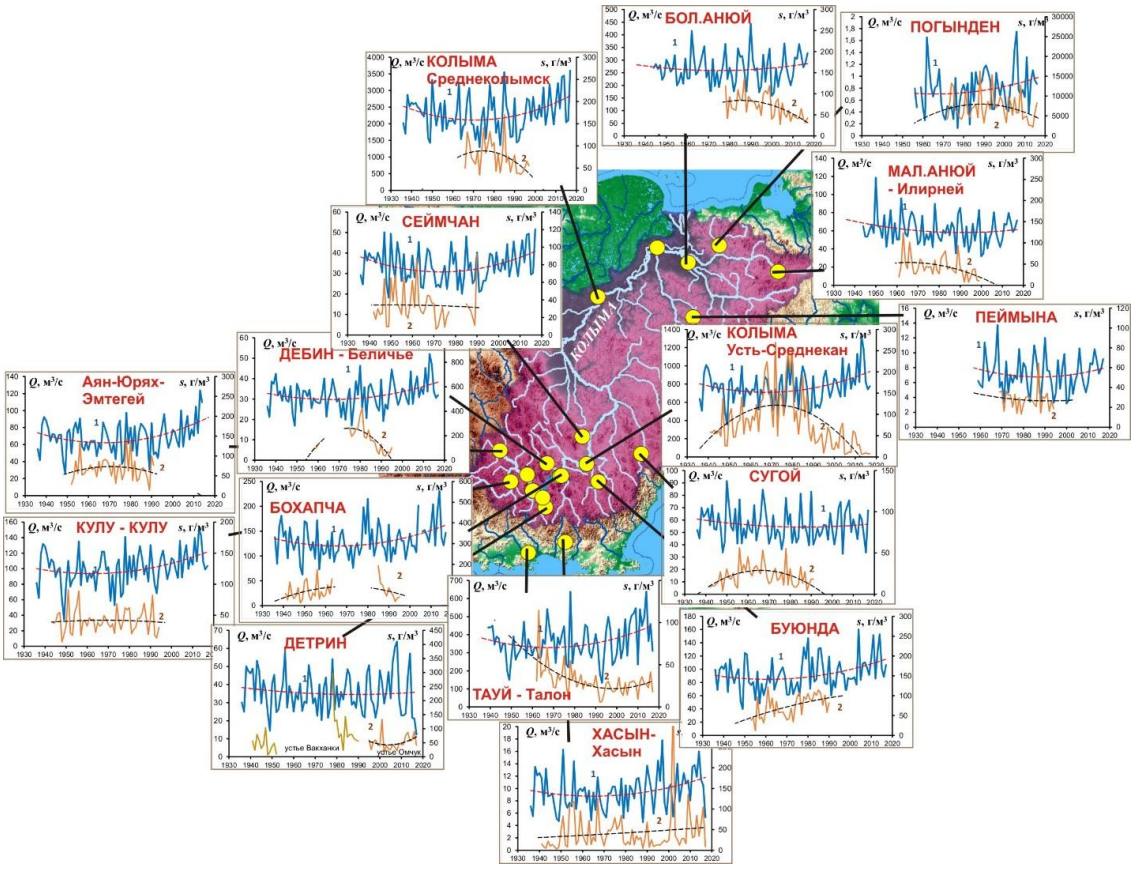


Рис.4. Многолетние изменения среднегодовых расходов (1) и мутности воды (2) на постах в бассейне Колымы и на примыкающем к нему побережье Охотского моря с полиномиальными трендами за 1936-2017 гг.

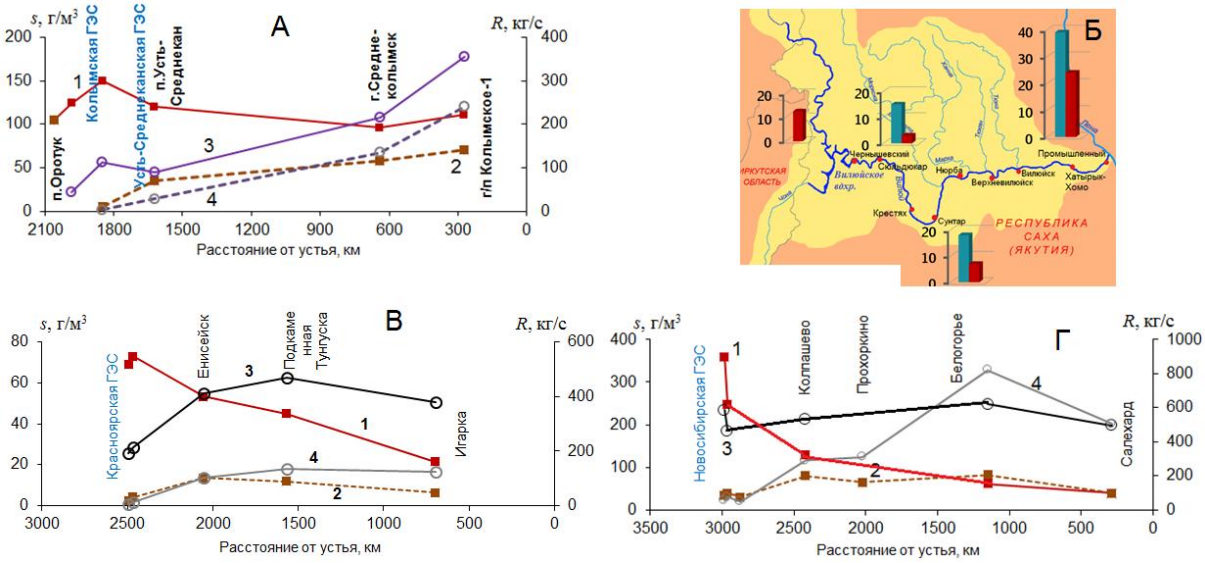


Рис. 5. Кривые изменений по длине рр. Колыма (А), Вилюй (Б), Енисей (В) и Обь (Г) средних годовых расходов взвешенных наносов (3,4) и мутности воды (1,2) до (1,3) и после (2,4) ввода в эксплуатацию водохранилищ. На рис. 6Б (Вилюй) показаны

изменения только мутности воды – до и после ввода в строй Вилюйского водохранилища

Благодарность. Исследования выполнены за счет гранта РФФИ Арктика 18-05-60219.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВНУТРИГОДОВУЮ ДИНАМИКУ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТОКЕ Р. ВЕЛИКАЯ.

Макарова М.А., Шелутко В.А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

IMPACT ASSESSMENT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE INTRA-ANNUAL DYNAMICS OF NUTRIENTS IN THE VELIKAYA RIVER RUNOFF.

Makarova M.A., Shelutko V.A.
Russian state hydrometeorological university, St. Petersburg, Russia

Представлены результаты оценки пространственно-временной динамики биогенных элементов в стоке р. Великая. Выявлены особенности влияния природных и антропогенных факторов на формирования гидрохимического режима водотока за 1969-2009 годы. Проведен анализ генезиса аномальных концентраций биогенных элементов.

This study presents the results of the assessment of spatio-temporal nutrient dynamics in the Velikaya River runoff. Impact features of natural and anthropogenic factors on the Velikaya River hydrochemical regime formation for 1969-2009 are revealed. The genesis of anomalous nutrient concentrations is analyzed.

Введение

В последние десятилетия наблюдается резкое усиление антропогенной нагрузки на водоемы и водотоки, что связано, прежде всего, с ростом городов, развитием промышленности и сельского хозяйства. Практически вся хозяйственная деятельность человека связана с изъятием из водных объектов значительных объемов чистой воды и последующим сбросом сточных вод, загрязненных биогенными и органическими веществами. При этом антропогенная составляющая совместно с природной обусловливают многолетнюю временную изменчивость гидрохимических характеристик залива. Это приводит к изменениям различных звеньев биогеохимического круговорота вещества, что отражается на биологических процессах [3].

К главным факторам внутригодового распределения стока можно отнести климатические факторы и хозяйственную деятельность человека. Определяющую роль среди гидрометеорологических явлений играют общая увлажненность бассейна, особенности выпадения осадков в разные сезоны, влажность воздуха, температурный фон, обуславливающий характер и интенсивность испаряемости влаги в бассейне. Антропогенная деятельность человека, относится, прежде всего, к мероприятиям по искусственному регулированию стока. Например, создание водохранилища может существенно повлиять на распределение стока внутри года, изменяя при этом качественные и количественные характеристики отдельных частей водотока.

Бассейн реки Великой по характеру естественной зарегулированности стока делится на три части: южную, левобережную и правобережную. Реки левобережной части бассейна по сравнению с правобережными притоками отличаются несколько повышенной водностью лимитирующего периода и сезона. На их долю в левобережной части бассейна приходится соответственно 45-50 и 12-17% годового стока, в правобережной части – 40-45 и 10-12% [4].

Следует отметить, что водность и зарегулированность стока оказывают существенное влияние на вынос биогенных элементов с водосбора. В этой связи целью данной работы является выявление особенностей временной динамики биогенных элементов в стоке р. Великая с учетом водности.

Исходные материалы и методы

В качестве исходных материалов использовались многолетние данные наблюдений за концентрациями азота нитратного (NO_3^-), азота аммонийного (NH_4^+), общего железа ($Fe_{общ}$), а также показателем биохимического потребления кислорода за 5 суток ($БПК_5$) за период с 1969 по 2009 годы. В рамках исследования были выбраны многолетние ряды наблюдений за гидрохимическим режимом, полученные в трех стационарных пунктах наблюдательной сети Росгидромета, располагающихся в непосредственной близости к городам Опочка, Остров и Псков. Данные предоставлены Северо-Западным Управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СЗУГМС).

Также в работе были использованы данные по расходам воды в дни отбора проб с трех гидропостов за исследуемый период времени. Данные предоставлены ФГБУ «Государственный гидрологический институт».

Исследование выполнено с помощью методов статистической обработки данных, основанных на получении обобщающих статистических показателей динамики стока биогенов.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе предварительного анализа исходных данных было выявлено наличие аномальных концентраций биогенных элементов для исследуемых выборочных совокупностей: в рядах азота нитратного ($N\text{-}NO_3^-$) выявлено 4 выброса, в рядах общего железа ($Fe_{общ}$) – 2, в рядах показателя $БПК_5$ – 8. Анализ показал, что их включение в оценку динамики биогенов в речном стоке существенно изменяет параметры распределения, в результате чего происходит искусственное завышение стока биогенов, что не соответствует реальному экологическому состоянию водотока. Рис. 1 показывает влияние наличия выбросов на значения рассмотренных концентраций биогенов.

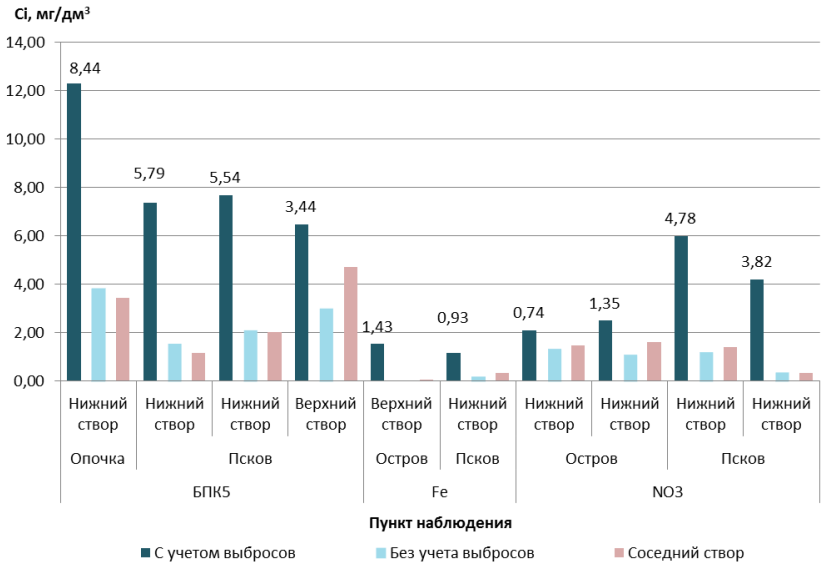


Рис. 1. Влияние выбросов на значения концентраций биогенных элементов в стоке р. Великая. Цифрами отмечен прирост значений концентраций по сравнению с отсутствием в ряду выброса.

Как показано на рис. 1, во всех случаях при исключении выбросов происходит существенное уменьшение концентраций рассмотренных биогенных элементов. Неучет экстремальных для данных выборок значений приводит к большим погрешностям в дальнейших расчетах.

Переход от данных наблюдений за концентрациями к данным по объемам стока загрязняющих веществ осуществляется по формуле 1.

$$W_i = Q_i \times S_i \quad (1)$$

где W_i – объем стока, т/год; Q_i – расход воды за i-й год, м^3/год; S_i – средняя годовая концентрация за i-й год, т/м^3.

Следует отметить, что вынос биогенных элементов с водосбора в значительной степени зависит от водности года. Изменение расхода воды в реке влияет на ряд количественных характеристик сброшенных сточных вод, в том числе и на концентрацию загрязняющих веществ при неизменных качественных и количественных характеристиках самих сбросов [1].

Поэтому при оценке среднегодовых концентраций биогенов необходимо учитывать также и динамику расходов воды. Расчет среднегодовых концентраций с учетом водности проводится по формуле 2.

$$\overline{S_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j}(Q_{ij} \times S_{ij})}{\sum_{i=1}^{n_j} Q_{ij}} \quad (2)$$

где где S_j – средняя годовая концентрация вещества в j-й год; n_j – число измерений концентраций в j-й год; i – номер измерения концентраций и расходов воды в данном году; S_{ji} и Q_{ji} – i-е значение концентраций и расходов воды в j-й год соответственно.

На рисунке 2 приведен график среднегодовой динамики азота нитратного в пункте наблюдения Псков, который наглядно показывает, как наличие в ряду аномальных концентраций искажает осредненные за год данные.

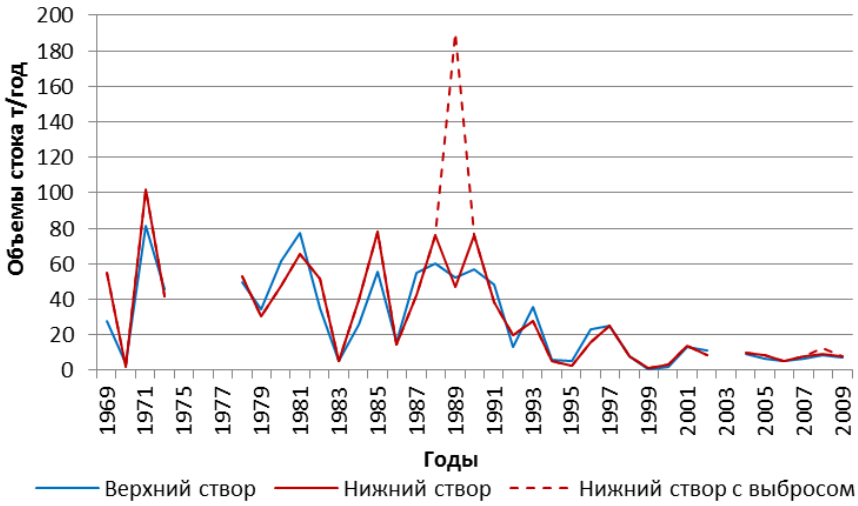


Рис. 2. Среднегодовая динамика стока азота нитратного (N-NO_3^-) в пункте наблюдения Псков (1969-2009 гг.).

Измеренное значение концентрации, которое оказало такое влияние, составило величину, равную 6,00 мг/дм^3, а с применением регрессионного анализа оно было восстановлено и приняло значение, равное 1,22 мг/дм^3. Таким образом, в случае неучета выброса при расчете объемов стока азота нитратного в 1989 году была бы допущена ошибка, превышающая реальное значение среднегодового стока в 4 раза.

Изменение объемов биогенного стока между соседними створами можно обозначить как разность объемов стока в створах, расположенных ниже ($W_н$) и выше ($W_в$) по течению реки:

$$\Delta W = W_н - W_в \quad (3)$$

Подобная оценка позволяет выделить районы водосбора, подвергающиеся различным уровням биогенной нагрузки. Как показали результаты анализа, наиболее загрязненным участком по приращению всех рассматриваемых биогенов является урбанизированная территория Пскова.

Также важной задачей в анализе аномальных концентраций является оценка их генезиса, поскольку не все максимальные значения можно считать статистически значимыми с точки зрения наличия выбросов. Генетический анализ выбросов проводился по графикам временной динамики концентраций биогенных элементов и расходов воды в р. Великая в дни отбора проб. Следует отметить, что было статистически доказано наличие 14 выбросов, однако восстановить значения их концентраций удалось только в 10 из них. Оставшиеся 4 значения выбросов восстановить не удалось из-за слабой коррелированности рядов с соседними створами. Эту особенность предстоит изучить подробнее в дальнейшем.

Какая-либо закономерность в появлении выбросов в рядах данных не обнаружена. Они встречаются во все сезоны годового цикла (кроме осеннего) и в разные декады месяцев. Критериями для отнесения значений концентраций к конкретной группе выбросов является створ, где он был зафиксирован (верхний или нижний) и значения расхода воды в реке в день отбора проб в сравнении с многолетней сезонной динамикой и среднесуточной динамикой в месяц, когда произошел выброс. Если аномальная концентрация наблюдалась в нижнем створе в многоводный период с расходом воды выше среднего за месяц, то речь идет о выбросе, вызванном аварийной ситуацией на предприятии. Наличие выброса в верхнем створе в маловодный период и его отсутствие в нижнем створе может говорить о влиянии водности на степень разбавления вещества в воде. Если же аномальная концентрация наблюдалась в нижнем створе в маловодный период, то здесь можно говорить о совместном влиянии, как аварийного сброса, так и водности.

Таким образом, 40% всех выявленных выбросов сформировались под влиянием аварийных сбросов в нижних створах пунктов наблюдений. Еще два выброса появилось в верхних створах в маловодные годы, что стало причиной резкого увеличения концентраций из-за низкой степени их разбавления. Оставшиеся четыре выброса сформировались в нижних створах так же в маловодные годы, поэтому здесь мы можем говорить о совместном влиянии естественных и антропогенных факторов, когда в условиях низких расходов воды происходит сброс сточных вод с индустриальных и коммунальных предприятий города.

Заключение

Как показало исследование, наличие выбросов в исходных рядах данных существенно искажает результаты при оценке динамики биогенных элементов в речном стоке. При этом в значительной степени изменяются параметры распределения исходных выборочных совокупностей, в результате чего происходит искусственное завышение стока биогенов, не соответствующее реальному экологическому состоянию водотока. Совместный анализ графиков временной динамики концентраций биогенных элементов и расходов воды в р. Великая в дни отбора проб позволил сделать выводы относительно условий формирования выявленных выбросов. 40% всех выявленных выбросов имеют антропогенное происхождение, 20% – природное, и оставшиеся 40% сформировались под совместным воздействием обоих факторов.

Литература

1. *Малинин, В.Н., Митина, Ю.В., Шевчук, О.И.* К оценке затопления побережья Курортного района Санкт-Петербурга при прохождении экстремальных наводненческих циклонов // Ученые записки РГГМУ. 2013 № 29 С. 138—145.
2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нарва. В 6 книгах. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна реки Нарва. Утверждена приказом Невско-Ладожского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов от «27» июня 2014 г. № 82

Шелутко В.А. Оценка экстремальных уровней загрязнения речной сети урбанизированных территорий. // Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. - СПб: изд. РГГМУ, 2002. с. 15-23

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЯХ МАЛЫХ РЕК АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

И.В. Мискевич, д-р географ. наук
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

SOME FEATURES OF THE FORMATION OF HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITIONS IN THE TIDAL MOUTHS OF SMALL RIVERS IN THE ARCTIC SEAS IN WINTER

I.V. Miskevich, Dr.Sc.
Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

Рассмотрена специфика формирования гидрологических и гидрохимических условий в приливных устьях малых рек арктических морей при наличии ледового покрова. Этот процесс зависит от соотношения глубин на устьевом взморье реки, толщины льда и величины прилива. При наличии больших глубин на взморье все устье реки при её перемерзании обычно занимают морские воды. При наличии мелководного взморья и малой величине прилива на нем формируется ледовая плотина. Она ограничивает обмен между морскими и речными водами и сильно трансформирует профиль приливной волны. На таких водных объектах наблюдается сильное опреснение устьевых вод, часто, с уменьшением их минерализации ниже 1000 мг/л.

The article considers the specifics of the formation of hydrological and hydrochemical conditions in the tidal mouths of small rivers in the Arctic seas in the presence of ice cover. This process depends on the ratio of the depth at the mouth of the river, the thickness of the ice and the magnitude of the tide. If there are large depths on the seashore, the entire mouth of the river is usually occupied by sea waters when it is frozen over. In the presence of a shallow seashore and the small size of the tide it is formed by an ice dam. It restricts the exchange between sea and river waters and strongly transforms the tidal wave profile. On such water bodies, there is a strong desalination of estuaries, often with a decrease in their mineralization below 1000 mg/l.

На территории российской Арктики наименьший объем исследований устьев рек приходится на зимний период, что связано с большой сложностью проведения натурных наблюдений в данный сезон года. При этом основной массив информации о природных условиях таких водных объектов приходится на большие реки, в меньшей степени, на средние реки. В настоящее время формирование гидролого-гидрохимических процессов в их устьях в зимний период при наличии льда относительно хорошо исследовано. С другой стороны, в устьях малых рек, число которых составляет подавляющую часть арктических водотоков, особенно с наличием приливов, данные процессы практически не изучались. Напомним, что под малой рекой согласно ГОСТ 19179-73 «Гидрология суши. Термины и определения» принято понимать реку с площадь водосбора не более 2000 км^2, бассейн которой располагается в одной географической зоне, и гидрологический режим ее под влиянием местных факторов может быть не свойственен для рек этой зоны.

Исследования устьев малых рек Белого моря с различной величиной прилива, проведенные Северо-Западным отделение Института океанологии РАН в зимние периоды 2015-2020 годов позволяют в определенной мере решить поднятую проблему. Здесь необходимо отметить, что для Белого и Баренцева морей наиболее характерны устья рек с мезоприливными условиями, однако имеется довольно большое количество устьев рек с микроприливными и макроприливными условиями. Для других

арктических морей в пределах территории России типичны только микроприливные условия (максимальная величина в сизигию на устьевом взморье не превышает 1,6 метра). Используемая градация таких условий дана по работе Михайлова В.Н [1].

Было выявлено, что в устьях малых рек формирование гидролого-гидрохимических характеристик зависит от соотношения глубин устьевого взморья, величины прилива и толщины льда. В этом отношении их можно условно разделить на 2 группы. В первую группу входят водотоки, у которых глубины устьевого взморья существенно превышают величину прилива. При полном перемерзании такого водотока все устье малой реки, как правило, занимают морские воды. Указанные устья рек наиболее характерны для скалистых морских берегов. Здесь необходимо заметить, что зимой приливы в Арктике значительно ослабевают из-за наличия ледового покрова, и зимняя величина прилива часто всего бывает в 2-3 раза меньше, чем его летняя величина. Во вторую группу входят водотоки, на устьевых взморьях которых глубины, величина прилива и толщина льда соизмеримы между собой. В них на малой воде приливного цикла лед, опускаясь на грунт, формирует своего рода «ледовую плотину», которая сильно ограничивает или полностью блокирует водообмен между рекой и морем. Такие условия наиболее характерны для устьев малых рек арктических морей в целом.

В микроприливных условиях не исключается полное перемерзание устья реки в зоне расположения «ледовой плотины». При этом возможно заполнение устьевого участка реки только речными водами или устьевыми водами с минерализацией 700-1000 мг/л, если зиме предшествовал осенний дождевой паводок. За счет влияния приливов на нем могут формироваться локальные желоба («каналы») с глубинами около 3-х метров и более, где весь зимний период может присутствует определенный объём речных вод. Это, в частности, создает благоприятные условия для сохранения ихтиофауны малой реки, включая сиговых рыб.

Как показали наши исследования, гидролого-гидрохимические процессы в устьях рек с отмелым устьевым взморьем зимой довольно резко отличаются от таковых в летнюю межень. Помимо значительного снижения величины прилива в них наблюдается заметное искажение профиля приливной волны, которая теряет свой синусоидальный характер и приобретает черты «импульса» с коротким временем подъёма и спада уровня воды. Одновременно отмечается большая продолжительность фазы отлива, значительную часть которой занимает очень медленное понижение уровня воды. [2].

Ослабление турбулентного перемешивания устьевых вод из-за уменьшения скоростей приливных течений ведет к усилению их стратификации по глубине в микроприливных устьях рек и к появлению относительно устойчивой стратификации в мезоприливных устьях рек. Последняя в таких водных объектах в летнюю межень обычно не наблюдается. Не отмечается она и в мезо-макропривных устьях средних и больших рек [3]. У малых рек с отмелым устьевым взморьем зимой также имеет место заметное уменьшение пространственного масштаба осолонения устьевого участка реки [4].

В летнюю межень, мутьевая пробка в устье реки формируется за счет взмучивания илистых и глинисто-илистых отложений в зоне сочетания наиболее обширных приливных осушек и сильных приливных течений. Подобные условия обычно наблюдаются на границе устьевого взморья и устьевого участка реки. Зимой мутьевая пробка смещается к границе устья реки с морем в зону расположения «ледовой плотины», и мутность вод устьевого участка реки сильно ослабевает по сравнению с условиями, фиксируемыми в период открытой воды.

Для примера в таблице 1 приведены данные полусуточных наблюдений (по 7 серий) в эстуарии р. Тамица в Белом море на границе устьевого взморья и устьевого участка

реки. В зимнюю межень величина прилива здесь составляла 1,3 метра, в летнюю межень –1,8 метра. Сравнительно небольшая сезонная разница в величинах этого параметра объясняется отсутствием припая в южной части Онежского залива в феврале 2020 года.

Таблица1. Характеристика полусуточной изменчивости гидролого-гидрохимических показателей в зимнюю и летнюю межень в мезоприливном эстуарии р. Тамицы в Онежском заливе Белого моря

Показатель	Горизонт	Февраль 2020 г.	Август 2020 г.
Соленость, ‰	поверхность	0,1-9,3	0,2-14,5
	дно	0,1-15,4	0,2-18,8
Взвеси, мг/л	поверхность	1,6-3,2	7,0-12,0
	дно	1,6-3,3	11,8-36,3
Кислородонасыщение, %	поверхность	99,3-106,2	97,7-105,1
	дно	98,6-104,2	97,8-104,3

Периодическое приливное опускание льда на донный грунт, в первую очередь, в зоне приливных осушек влечет за собой сильную деформацию целостности донных отложений. На маршевых лугах при примерзании водных макрофитов к льду деформация донных отложений также происходит при разрушении корневых систем растений, заглубленных в грунт. Часть крупнодисперсных наносов (крупнозернистый песок, гравий, галька, камни), которая даже в весенний паводок остается в устье реки, включается в структуру ледового покрова и весной выносится за пределы устьевой области малой реки.

Наличие приливных трещин и разводий в ледовом покрове практически на всей акватории мезоприливных и макроприливных устьев малых рек благоприятствует аэрации их вод и их доступу к солнечному свету. Это, при повышенных концентрациях биогенных веществ в зимний период стимулирует раннюю вегетацию планктона уже во 2-й половине зимы, что создает дополнительное органическое вещество, выносимое в море. Вспышка развития микроводорослей зимой может быть сопоставимой с его характеристиками в летнюю межень, что, в частности, показывают данные по кислороду в таблице 1. При этом в короткопериодной изменчивости таких показателей как, кислородонасыщение, величина pH и биогенные вещества появляется хорошо заметный суточный цикл, генерируемый солнечной активностью. Подобное влияние увеличивается по мере возрастания величины прилива. В частности, в мезо- и макроприливных эстуариях Белого и Баренцева морей не наблюдается глубокий дефицит кислорода в конце зимней межени, который может возникать в микроприливных условиях.

Вышеописанные ситуации показывают, что в приливных устьях малых рек с отмелым взморьем в зимний период маргинальный фильтр перестает функционировать по классической схеме, предложенной академиком А.П. Лисицыным [5]. Она предусматривает расположение в устье реки по мере осолонения её вод 3-х зон в следующей последовательности - мутьевая, химическая и биологическая «пробки». В вышеуказанных водотоках должна наблюдаться иная цепочка – химическая, биологическая и мутьевая «пробки».

Таким образом, можно предположить, что гидролого-гидрохимические процессы в приливных устьях малых рек арктической зоны России в зимнюю межень имеют специфический характер, и на них нельзя распространять закономерности, полученные для таких водных объектов летнюю межень, а также для устьев средних и больших рек в зимний период. Это необходимо учитывать при проведении прикладных исследований рассматриваемых водных объектов [6].

Работа выполнена в рамках темы № 0149-2019-0007 - государственного задания «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана — геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов — литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек».

Литература

1. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Том 31. № 1. С. 5-14.

2. Мискевич И.В., Лещев А.В., Мосеев Д.С., Лохов А.С. Гидролого-гидрохимические исследования устьев малых рек Белого моря в зимнюю межень 2019 года //Океанология. 2019. Т. 59. № 6. С. 1089-1092.
3. Мискевич И.В. Гидрохимия приливных устьев рек: методы расчетов и прогнозирования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. С-Пб. 2005. 50 с.
4. Мискевич И.В., Алабян А.М., Коробов В.Б., Демиденко Н.А., Попрядухин А.А. Исследования короткопериодной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик устья реки Кянда в Онежском заливе Белого моря (28 июля-15 августа 2016 г.) // Океанология. 2018. Т. 58. № 3. С. 369-373.
5. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994.Т. 34. № 5. С. 735-747.
6. Мискевич И.В., Коробов В.Б., Алабян А.М. Специфика инженерно-экологических изысканий в приливных устьях малых рек западного сектора российской Арктики // Инженерные изыскания, 2018. Т. 12. № 3-4, С. 50-61.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ, СПУТНИКОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПЕРЯЧЕЙКОВОГО ОБЛАКА.

Михайловский Ю.П.[1,3], канд.физ.-мат.наук, Абшаев М.Т.[4], д-р . физ.-мат.наук, Абшаев А.М.[4], д-р . физ.-мат.наук, Синькевич А.А.[1], д-р техн.наук, Аджиев А.Х.[2], д-р . физ.-мат.наук, Попов В.Б.[1], канд.физ.-мат.наук, Кашлева Л. В.[3] канд.физ.-мат.наук.
[1] ФГБУ «ГГО им. А.И. Воейкова», г. Санкт-Петербург, Россия;
[2] ФГБУ ВГИ, г. Нальчик, Россия;
[3] РГГМУ, г. Санкт-Петербург, Россия.
[4]НПЦ «Антиград», Нальчик, Россия

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF RADAR, SATELLITE, AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF A SUPERCELL CLOUD.

Mikhailovsky Yu.P.[1,3], Cand.Sc., Abshayev M.T.[2], Dr.Sc., Abshayev A.M.[2], Dr.Sc., Sinkevich A.A.[1], Dr.Sc., Adjyev A.H.[2], Dr.Sc., Popov V.B., Cand.Sc., Kashleva. L.V.[3] Cand. Sc.
[1] FGBU "MGO them. A.I. Voyeikov ", St. Petersburg, Russia;
[2] FGBU VGI, Nalchik, Russia;
[3] RSHU, St. Petersburg, Russia.
[4] NPC “Antigrad”, Nalchik, Russia;

Исследуются особенности развития радиолокационных, спутниковых и электрических характеристик суперячейкового облака. Обсуждаются возможности прогноза и диагноза опасных явлений погоды (град, ливневые осадки, смерчи и др.) в этих облаках дистанционными радиофизическими методами. Использованы данные ДМРЛ-С, МРЛ-5, Метеосат-10, LS8000. Полученные корреляционные связи различных контролируемых характеристик отличаются от установленных ранее для одноячейковых и многоячейковых облаков. Зафиксированы экстремальные для данного региона характеристики: время существования - 14 и более часов, вертикально интегрированная водность - 117кг/м2, интенсивность осадков - 590 для смешанных и 440 мм/час для градовых, частота отрицательных молний «облако-земля» - 37 1/мин с токами 260кА/мин и положительных - 68 1/мин и 360 кА/мин.

The features of the development of radar, satellite, and electrical characteristics of a SuperCell cloud are investigated. The possibilities of forecasting and diagnosing dangerous weather events (hail, heavy precipitation, tornadoes, etc.) in these clouds by remote radiophysical methods are discussed. Data from DMRL-C, MRL-5, Meteosat-10 and LS8000 were used. The obtained correlations of various monitored characteristics differ from those previously established for single-cell and multi-cell clouds. Extreme characteristics were recorded for this region: lifetime - 14 hours or more, vertically integrated water content - 117kg/m2, precipitation intensity - 590 mm/h for mixed and 440 mm/h for hail, the frequency of negative cloud-earth lightning - 37 1/min with currents of 260kA/min and positive - 68 1/min and 360 kA / min.

Разработка и совершенствование методов прогноза и диагноза опасных явлений погоды (ОЯП), связанных с конвективными облаками, актуальна и практически значима. В настоящее время для этих целей в основном используется метеорологическая радиолокация. Проведено большое количество исследований связей радиолокационных, спутниковых и электрических характеристик конвективных облаков[1-5, 7,10]. Для одно- и многоячейковых облаков установлены устойчивые корреляционные связи этих характеристик, позволяющие решать задачи прогноза и диагноза[7-10].

Наименее исследованными остаются наиболее мощные и разрушительные, так называемые «суперячейковые» облака. Имеются отдельные публикации в России и за рубежом[1-5]. Например, Van Den Broeke [3] проанализировал 30 суперячеек до момента образования торнадо и пришел к выводу, что за 25-30 мин до возникновения торнадо размер града и высота столба дифференциальной отражаемости ZDR больше, чем в стадии торнадо.

Farnell [5] обработал данные грозовых облаков с 2013 по 2018 в Каталонии и заключил, что резкий всплеск интенсивности грозовых разрядов, обнаруженный в некоторых из них, может успешно применяться для наукастинга и прогноза интенсивных осадков. В работе [5] он же показал, что всплеск грозовых разрядов может применяться для прогноза крупного града (> 2 см), опережая его примерно на 13 мин. Williams [4] ввел специальный термин «Lightning Jump» (LF), что означает «скачок молний», и пришел к выводу, что данный феномен, как правило, предшествует опасным явлением погоды у земли.

В докладе анализируется случай развития сверхмощного суперячейкового облака на Юге России 19 августа 2015 г. [1,2] из которого выпадал крупный град и ливень, отмечалась повышенная грозовая активность и редкое для региона явление – торнадо. В этот день по данным пяти радиолокаторов с 10:20 до 20:00 UTC наблюдался мощный градовый процесс правостороннего развития, который охватил обширную территорию Северного Кавказа. Две мощные суперячейки и несколько более слабых градовых ячеек перемещались со скоростью 60—75 км/ч.

Прогнозы развития конвективных облаков в 3-х пунктах аэрологического зондирования представлены в Таблице 1.

Таблица 1

Индексы неустойчивости

Индекс	00:00UTC	12:00 UTC	00:00 UTC	12:00 UTC	00:00 UTC	12:00 UTC
	Туапсе		*Минеральные Воды*		*Дивное*	
CAPE — Доступная потенциальная конвективная энергия, Дж/кг	2657	3522	764	1294	295	659
Категория шторма (прогноз)	Средний	Сильный, суперячейка	Слабый средний	Средний	Слабый	Слабый, одноячейковый

Данные аэрологического зондирования на станциях Минеральные Воды и Дивное демонстрируют слабую неустойчивость с низкой вероятностью развития конвективных явлений. Развитие грозовых облаков большой интенсивности по данным указанных станций не ожидалось из-за небольших вертикальных градиентов температуры и отсутствия холодных фронтов. Проведенный анализ свидетельствует, что использование только термодинамических методов прогноза суперпроцессов подобного типа может оказаться недостаточно эффективным.

Радиолокационные параметры суперячейкового облака

Анализ пространственной структуры и динамики развития суперячейки показал, что она имела правостороннее развитие, двигалась вправо от направления ведущего потока (с отклонением 40—50 градусов) со скоростью 50—90 км/ч в разные периоды. Высокие радиолокационные навесы располагались на правом и наветренном флангах облачной системы. Максимальные значения радиолокационных характеристик были

зарегистрированы в 12:58 UTC в районе станицы Советская Краснодарского края, где отражаемость превысила 70 dBZ , при этом верхняя часть облаков достигла 15—16 км, а верхняя граница градового очага — 11,2 км. Объем облака с отражаемостью более 15 dBZ составил почти 105 км3. Вертикально интегрированная водность достигла предельного значения 120 кг/м2 (рис. 5г), а интенсивность осадков (рис. 5д) — 500—600 мм/ч. Размер градин на большей части градовой дорожки был равен 2—3 см, а во время максимального развития облака достигал 4—6 см (рис. 5е). Общая длительность существования суперячейки составила около 10,5 ч с 10:20 до 21:00 UTC, после чего она вышла из радиуса видимости метеорологических радиолокаторов России.

Радиационные характеристики суперячейкового облака по спутниковым данным

Спутниковые изображения, полученные с помощью геостационарного спутника Метеосат-10 в канале 10,8 мкм показывают, что суперячейка сформировалась в 07:27 UTC на береговой линии Черного моря. По данным канала 10,8 мкм минимальное значение температуры в верхней части облака составляет около –60 ºС в 12:00 UTC. По данным радиозондирования станции Туапсе 37011 (рис. 1) максимальная высота верхней границы облака составила 17 км над уровнем моря, что сопоставимо с радиолокационными данными. По спутниковым данным также видно, что минимальная температура на вершине облака снижалась до 12:00 UTC, указывая на вертикальный рост облака.

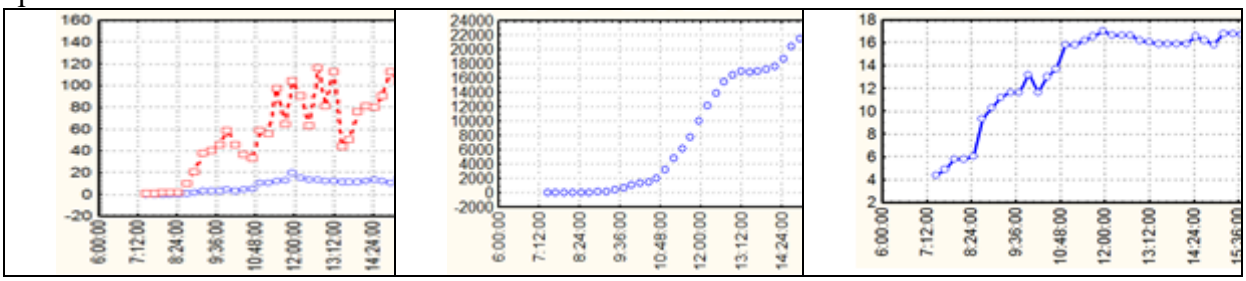


Рис.1. Изменение во времени характеристик суперячейки по спутниковым данным:

Левый Рис. -- интенсивность осадков (мм/ч) — максимальная (квадраты) и средняя (круги) в пикселе, соответствующем вершине облака; средний Рис. - суммарный поток осадков (м3/сек); правый Рис. - верхняя граница облака, рассчитанная по каналу 10,8 мкм и данным радиозондирования атмосферы (станция Туапсе).

Интенсивность осадков[6] изменялась от 20 до 150 мм/ч, максимальная интенсивность была зарегистрирована в 15:36 UTC(рис. 1). Наиболее интенсивный поток осадков (22000 м3/с) наблюдался в 15:00 UTC(рис. 1). Интенсивность смешанных осадков по радиолокационным измерениям составила примерно 550 мм/ч. Размер града в этот момент составлял 4,5 см

Электрические характеристики суперячейкового облака

Система обнаружения молний, установленная на Северном Кавказе), состоит из четырех станций LS8000 производства Vaisala и центрального пункта приема и обработки информации, который обеспечивает сбор, обработку и архивирование данных о грозовых разрядах [1,2].

Максимальная частота разрядов Облако—Земля была зафиксирована в 14:20 UTC как для отрицательных, так и для положительных разрядов, достигая примерно 30—35 мин-1 и 60—70 мин-1 соответственно. После этого интенсивность разрядов начала постепенно уменьшаться, вплоть до полного исчезновения после 17:00 UTC. Однако

это может быть результатом как общего ослабления облака, так и его выхода из зоны надежного обнаружения системой LS8000. Частота разрядов Облако—Облако достигала на пике развития суперячейки значений 300—500 мин-1. Важным фактом является то, что максимальная частота разрядов разных типов совпадает во времени, показывая, что природа всех разрядов схожа. Общий ток разрядов О—З положительной (LF+) и отрицательной (LF–) полярностей практически идентичен по величине и отличается по знаку, составляя 200—300 кА на пике развития облака.

Анализ связей радиолокационных и электрических параметров

Анализ регрессионных связей между радиолокационными характеристиками суперячейки и частотой грозовых разрядов показал, что максимальную корреляцию (R = 0,7) имеет пара: V45 (км3) и частота низкочастотных разрядов LF . Несколько более слабая корреляция (0,63) была найдена для частоты разрядов VHF. Почти такая же корреляция была обнаружена для пары Zmax и частоты разрядов VHF (0,66) и (0,5) для разрядов LF. Более слабая корреляция была обнаружена между объемом облака с отражаемостью не ниже 35 dBZ и частотой разрядов LF (0,436) и VHF (0,44). Корреляции между интенсивностью осадков и частотой разрядов LF и VHF имели коэффициенты 0,45 и 0,57 соответственно.

Такие относительно слабые связи могут указывать на тот факт, что данные пяти радиолокаторов, которые использовались в анализе, имеют погрешности, связанные с влиянием сложного рельефа местности, разных длин волн и ширины луча антенны, калибровок и т. д. Основной причиной погрешности измерения грозовых характеристик является большая удаленность суперячейки от пункта регистрации (см. рис. 6), особенно на этапе ее развития вблизи Черного моря. Здесь LF и VHF – интенсивность молниевых разрядов типа облако-облако и облако-земля в мин; Zmax – максимальная радиолокационная отражаемость в dBZ; V35 и V45 – объем облака с отражаемостью не менее 35 и 45 dBZ соответственно в км3; I – интенсивность осадков в мм/ч; LDG и HDG – масса ледяной крупы низкой и высокой плотности в тоннах.

1	*LF*, мин$^{-1}$	Z_{max}, dBZ	$Y = 1{,}54x - 83{,}59$	0,5
2	*VHF*, мин$^{-1}$	Z_{max}, dBZ	$Y = 0{,}8x^2 - 82{,}1x + 2077$	0,66
3	*LF*, мин$^{-1}$	V_{45}, км^3	$Y = 6{,}4\cdot10^{-6}x^2 + 2{,}5\cdot10^{-3}x + 2{,}3$	0,7
4	*LF*, мин$^{-1}$	V_{35}, км^3	$Y = 0{,}003x + 3{,}4$	0,44
5	*VHF*, мин$^{-1}$	V_{45}, км^3	$Y = 0{,}1x - 38$	0,63
6	*VHF*, мин$^{-1}$	V_{35}, км^3	$Y = 0{,}04x + 14{,}06$	0,44
7	*LF*, мин$^{-1}$	*I*, мм/ч	$Y = 0{,}04x + 6{,}97$	0,45
8	*VHF*, мин$^{-1}$	*I*, мм/ч	$Y = 0{,}47x + 63{,}13$	0,57
9	*VHF*, мин$^{-1}$	*LDG*, тон	$Y = -4{,}61\cdot10^{-4}x + 104$	0,1
10	*LF*, мин$^{-1}$	*HDG*, тон	$Y = 2{,}2\cdot10^{-4}x + 1{,}07$	0,48
11	*VHF*, мин$^{-1}$	*HDG*, тон	$Y = 2{,}4\cdot10^{-3}x - 26{,}9$	0,58

Выводы

Проведенный анализ свидетельствует, что использование термодинамических методов прогноза суперпроцессов подобного типа может оказаться недостаточно эффективным.

Полученные корреляционные связи различных контролируемых характеристик отличаются от установленных ранее для одноячейковых и многоячейковых облаков. Статистические связи являются более слабыми.

Зафиксированы экстремальные для данного региона характеристики: время существования - 14 и более часов, вертикально интегрированная водность - 117кг/м2, интенсивность осадков - 590 для смешанных и 440 мм/час для градовых, частота отрицательных молний «облако-земля» - 37 1/мин с токами 260кА/мин и положительных - 68 1/мин и 360 кА/мин.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, гранты БРИКС_т 18-55-80020.

Список используемых источников

1. *Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Михайловский Ю.П., Синькевич А.А,, Попов В.Б*. Исследование дистанционными радиофизическими средствами особенностей развития процессов электризации и градообразования в суперячейковом облаке, Тр. ГГО 2020, Вып. 596. – С. 96-130.
2. *Abshaev, M.; Abshaev, A.; Sinkevich, A.; Mikhailovskiy, Y.; Popov, V.; Adzhiev, A*. Characteristics of the Supercell Cb Thunderstorm and Electrical Discharges on 19 August 2015, North Caucasus: A Case Study. Preprints 2019, 2019120033 (doi: 10.20944/preprints201912.0033.v1).
3. *Van Den Broeke, M. S*. (2020). A Preliminary Polarimetric Radar Comparison of Pretornadic and Nontornadic Supercell Storms. Monthly Weather Review, 148(4), 1567–1584. https://doi.org/10.1175/mwr-d-19-0296.1.
4. *Williams, E., Boldi, B., Matlin, A., Weber, M., Hodanish, S., Sharp, D., Goodman, S., Raghavan, R., and Buechler, D*., 1999: The behavior of total lightning activity in severe Florida thunderstorms, Atmos. Res.,51, 245–265.
5. *Chronis, T., Carey, L. D., Schultz, C. J., Schultz, E. V., Calhoun, K. M., & Goodman, S. J*. (2015). Exploring lightning jump characteristics. Weather and Forecasting, 30(1), 23–37. https://doi.org/10.1175/WAF-D-14-00064.1
6. *Краус Т. В., Синькевич А. А, Гхулам А. С.* (2012). Радиолокационные исследования слияния облаков // Метеорология и гидрология. № 9. С. 42—57.
7. *Михайловский Ю. П., Синькевич А. А., Павар С. Д., Гопалакришнан В., Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Богданов Е. В., Куров А. Б., Аджиев А. Х., Малкарова А. М., Абшаев А. М.* (2017). Исследования развития грозо-градового облака. Часть 2: Анализ методов прогноза и диагноза электрического состояния облаков // Метеорология и гидрология. № 6. С. 31—45.
8. Михайловский Ю.П., В.Б. Попов, А.А. Синькевич, А.М. Абшаев, М.Т. Абшаев, А.Х. Аджиев, Ж.М. Геккиева, В.В. Занюков (2019) Физико-статистическая эмпирическая модель развития молниевой активности конвективных облаков. Труды ГГО, вып. 595, 2019, ООО "Д'АРТ", с.125-138
9. *Синькевич А. А., Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Михайловский Ю. П.* (2018). Слияние конвективных облаков. — СПб: ОАО «Амирит». 280 с.
10. *Синькевич А.А., Михайловский Ю.П., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е. Богданов Е.В., Аджиев А.Х., Малкарова А.М., Абшаев А.М.* Исследования развития грозо-градового облака. Часть 1. Развитие облака и формирование электрических разрядов // Метеорология и гидрология. 2016. №9. С. 27–40.

АНТРОПОГЕННЫЙ ВКЛАД В ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Михневич Г.С. [1], Кречик В.А. [2],. Крек А.В [2],. Данченков А.Р [2]
[1]Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, РФ [2]Атлантическое отделение Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова, Калининград, РФ

ANTHROPOGENIC CONTRIBUTION TO THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE GDANSK BASIN

G.S. Mikhnevich[1], V.A. Krechik[2], A.V. Krek [2], A.R. Danchenkov[2]
[1]Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, [2]Atlantic Branch of the Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russia

В работе охарактеризовано изменение химического состава донных отложений (тяжелых металлов) в вертикальном разрезе в четырех колонках, отобранных в Гданьской впадине. Определена антропогенная составляющая этих изменений.

The work describes the change in the chemical composition of bottom sediments (heavy metals) in a vertical section in four columns sampled in the Gdansk Basin. The anthropogenic component of these changes has been determined.

Введение. В поверхностном слое донных отложений Балтийского моря, в сравнении с осадками, сформированными в доиндустриальную эпоху, содержатся более высокие концентрации микроэлементов. Результаты анализов указывают на явное повышение содержания тяжелых металлов в поверхностном слое донных отложений моря (до 10–15 см) [5]. Обогащение осадков тяжелыми металлами и другими химическими компонентами может быть результатом их естественных геохимических свойств или антропогенного воздействия [5, 7]. Оценка степени загрязнения (т.е. антропогенного влияния) возможна путем сравнения содержания данного элемента с его концентрацией в контрольном слое, то есть с геохимическим фоном [5]. Для определения местоположения фонового слоя следует учитывать многие природные факторы: скорость оседания, степень перемешивания наносов вследствие биотурбации и воздействия донных морских течений и др. Особенное значение в Балтийском море имеют изменения окислительно-восстановительного потенциала, зависящие от притока аэрированных североморских вод после периода стагнации. Естественные процессы осаждения могут нарушаться деятельностью человека: рыболовством, парусным спортом, трубопроводным транспортом и т.д. *Цель работы* — провести анализ распределения микроэлементов (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As, Cd, Cr) в вертикальном разрезе четырех колонок, отобранных в Гданьском заливе, и выявить признаки антропогенного воздействия и характеристики фонового слоя.

Особенности Гданьского бассейна. Четвертичные отложения распространены практически повсеместно. Мощность четвертичных осадков составляет до 50-60 м, из которых на долю голоценовых осадков приходится 15-20 м [6, 9]. Плейстоценовые отложения мощностью до 35 м практически сплошным слоем перекрывают дочетвертичные образования. Отложения представлены моренными супесями и суглинками с включениями гальки, гравия, валунов. Морену перекрывают озерно-ледниковые отложения, сформировавшиеся в Южно-Балтийском Ледниковом озере и представленные ленточными глинами, суглинками и супесями (мощность до 10 м). Плейстоценовые отложения перекрыты голоценовыми илами, накопленными в Иольдиевом море, Анциловом озере и Литориновом море [4].

Преобладание в общем балансе осадочного вещества продуктов абразии берегов и эрозии дна, а не речных выносов, является важной отличительной чертой Гданьского бассейна [3]. В результате различной активности гидродинамических процессов в водной толще происходит механическая и химическая сепарация осадочного вещества. В зоне волновой переработки, в прибрежной зоне седиментации происходит интенсивная механическая сепарация твердых частиц, следствием чего является накопление у берега на малых глубинах песка, мористее — крупных алевритов (первая механическая барьерная зона) [1]. За пределами зоны волновой переработки (глубины 40–80 м) осадочный (алевритово-пелитовый) материал практически не откладывается и проходит эту зону транзитом, чтобы опуститься на дно уже в Гданьской впадине. Гидродинамическая энергия резко уменьшается в слое пикноклина, который располагается на глубине 60–80 м. Здесь, на границе смены обломочных осадков глинистыми, происходит резкие и разнонаправленные изменения содержания элементов и смена их минеральных форм (вторая механическая барьерная зона) [1]. Алеврито-пелитовые отложения, встречающиеся ниже пикноклина, содержат менее 1% частиц песчаной размерности и демонстрируют горизонтальное расслоение до глубины 6–14 см ниже морского дна [6]. Для Гданьской впадины характерен восстановительный тип диагенеза: ниже пикноклина преобладают анаэробные условия, часто с сероводородом. Сульфатредуцирующий процесс в голоценовых илах наиболее интенсивно протекает в верхних 40–50 см [1].

Скорость современной седиментации в Гданьском бассейне составляет от 0,5 до более чем 2 мм/год [9], в «ложбине Пранемана» - 1,0-1,3 мм/год [8]. В тоже время средние скорости накопления отложений в самой глубокой, центральной, части Гданьского бассейна, в позднем плейстоцене-голоцене, составляет 0,84 мм/год (от 0,37 до 1,62 мм/год) [2].

В общем установлено [5-6], что осадки Гданьской впадины с глубины от 2 до 14 см более или менее существенно обогащены отдельными микроэлементами. Аналогичные явления наблюдаются и в других акваториях Балтики. В поверхностном (придонном) слое осадков наблюдается уменьшение содержания всех микроэлементов, что, вероятно, связано с меньшим сбросом загрязняющих веществ в Балтийское море с конца 80-х гг прошлого века. Помимо группы элементов, концентрация которых в поверхностном слое осадков значительно повышена (Cd, Cu, Hg, Pb, Zn), существуют также элементы (Ba, Co, Cr, Ni, V), концентрации которых в поверхностном осадке чаще всего ниже, чем на больших глубинах [5].

Фактический материал. Колонки донных отложений отбирались герметичной геологической трубкой системы Лаури-Ниемисто в 35 и 37 рейсах НИС «Академик Николай Страхов». Колонка 35084 – 56 см, 35097 – 51 см, 37056 – 81 см, 37057 – 76 см. Все колонки расположены ниже пикноклина (35097 - 110 м, 37056 - 90 м, 37057 - 81 м, 35084 - 76 м). Колонка 35097 расположена в центральной, 37056 и 37057 - в северо-восточной части Гданьской впадины, 35084 - периферической северо-восточной части Гданьского бассейна. Содержание элементов в исследуемых пробах грунтов определялось методом атомно-абсорбционного анализа в лаборатории Атлантического отделения ИО РАН.

Содержание микроэлементов как естественного происхождения, так и антропогенных примесей в первую очередь зависит от размера зерен осадка. Пробы осадков представлены алеврито-пелитовыми илами, однако доля алевритовой фракции меняется в вертикальном разрезе колонок. Для того, чтобы избежать влияния грансостава на содержание микроэлементов применялась процедура нормализации содержания микроэлементов к железу [5]. В основе этого типа стандартизации лежит допущение того, что наличие компонента стандартизации является результатом

естественных процессов, а также тем фактом, что в естественных отложениях существует линейная зависимость между содержанием определенного элемента и содержанием агента нормализации [5]. В анализе вертикального распределения микроэлементов для выявления участков, обогащенных микроэлементами в результате загрязнения морской среды, и участков, характеризующихся фоновыми значениями, использовались как абсолютные значения концентраций элементов, так и нормализованные их значения.

Результаты

Медь. В поверхностном слое осадков наблюдается четкое увеличение содержания Cu, достигающее 80-86 мг/кг в колонках 37056 и 35084 на горизонте 0-2 см и 65-80 мг/кг в колонках 37057 и 35097 (интервал 5-7 см). Кривые содержания Cu разнообразны: аналогичными являются изменения содержания меди в паре колонок 37056 и 35084 и в паре колонок 37057 и 35097. Фоновые доиндустриальные значения Cu (около 40-45 мг/кг) отмечаются на глубинах 24-51 см, 13-57 см, 15-53 см , 22-39 см. В глубоких колонках на горизонтах от 50 см до 60-62 см наблюдается рост концентрации Cu, сменяющийся ее падением.

Цинк. В отличие от вертикального распределения меди, изменения концентрации Zn во всех колонках однообразны. Максимальные значения (146-189 мг/кг) фиксируются в интервале от 10 до 23 см. От указанных глубин к поверхности дна концентрации Zn уменьшаются до 97-117 мг/кг. Фоновые концентрации отмечаются на глубинах более 20-30 см и составляют около 120 мг/кг. Однако минимальные концентрации Zn в колонках наблюдаются на более глубоких горизонтах - ниже 60 см (80-90 мг/кг).

Свинец. Поверхностная часть осадков до глубины 24-35 см обогащена Pb. При этом в колонках 35084 и 35097 четко наблюдается один максимум концентрации (до 68-86 мг/кг) на горизонте от 4-5 до 30 см. У дна в этих колонках концентрация Pb резко уменьшается до 17-19 мг/кг. Глубже антропогенно измененного горизонта содержание Pb резко падает до 14-21 мг/кг (горизонт 50-55 см). Распределение Pb в вертикальном разрезе колонок 37056 и 37057 более сложное. Наблюдаются несколько максимумов — у поверхности дна (0-2 см - 33-59 мг/кг), 8-20 см (37-91 мг/кг), 27-51 см (40-67 мг/кг). Фоновые значения находятся на уровне 20-40 мг/кг.

Кадмий. Отчетливое увеличение концентрации Cd происходит с глубины 12-20 см; максимум достигается на глубине 2-17 см (до 0,7 мг/кг). В колонках 35097 и 37056 в придонном слое осадков фиксируется резкое снижение Cd до 0,4-0,5 мг/кг. В колонках 37057 и 35084 придонный минимум наблюдается на глубине 1-3 см (0,1-0,2 мг/кг). На горизонте 30-45 см в колонках наблюдается еще один скачок концентрации Cd до 0,4 мг/кг. Фоновое значение на глубинах 20-30 см составляет 0,2-0,3 мг/кг.

Мышьяк. Увеличение концентрации As происходит с глубины 11-14 см с концентрации 13-19 мг/кг. Максимальные значения достигаются на горизонте 0-2 см (68 мг/кг в колонке 37056; 25 мг/кг — колонка 37057; 27 мг/кг — колонка 35084; 28 мг/кг - колонка 35097). Фоновые концентрации на глубинах 20-50 см составляют около 20 мг/кг. Мышьяк чрезвычайно чувствителен к изменениям окислительно-восстановительного потенциала, и это является причиной его значительных изменений в содержании в вертикальном разрезе, включая повышенные значения в нижних частях колонок. Однако влияние процесса антропогенного загрязнения очевидно.

Кобальт. Поверхностный максимум (25-27 мг/кг) в придоннном слое 0-4 см наблюдается только в колонке 37056. Далее на глубине 10-25 см в этой колонке содержание Co уменьшается до значений 10 мг/кг, а ниже до глубины 50 см наблюдается второй, менее значительный максимум (до 20 мг/кг на горизонте 46-47 см). К нижней части колонки (70-80 см) концентрация падает до 7-8 мг/кг. В остальных

колонках (37057, 35084, 35097) в придонном слое нет подобного четкого роста концентрации элемента; максимум растягивается на первые десятки сантиметров (20-25 см), концентрации - 18-20 мг/кг. Наибольшие значения (23 мг/кг) наблюдаются в горизонте 40-70 см в колонке 37057 и 23-36 см в колонке 35097. Фоновые значения, по-видимому, находятся в интервале 10-15 мг/кг

Никель. Все колонки демонстрируют различные ходы концентрации Ni, некоторое сходство прослеживается между ходами в паре колонок 37056 / 35084. *Колонка 37056.* Первый максимум - от 11-12 см к поверхности дна (до 50 мг/кг на горизонте 1-2 см). Далее - минимум до 23-24 см (34 мг/кг, 21-22 см). Второй максимум 24-25 см — 36-37 см (до 45 мг/кг). Второй минимум 38-45 см (34 мг/кг). Третий максимум — самый значительный и протяженный — 46-70 см (до 55 мг/кг) и далее уменьшение концентрации до 37-40 мг/кг. *Колонка 35084.* Три максимума: первый от 5-6 см к поверхности дна (максимальная концентрация 56 мг/кг, горизонт 1-2 см), второй, протяженный и растянутый с 10 до 33 см (57 мг/кг, 22-23 см), третий максимум - с глубины 42 см до конца колонки — 57 см (48 мг/кг). Минимальные значения, очевидно близкие к фоновым — 30-35 мг/кг в интервале 34-40 см. *Колонка 37057*. У поверхности дна — минимум (0-6 см — 37 мг/кг). Один протяженный максимум 14-38 см (до 72 мг/кг на глубине35-36 см), затем падение концентрации Ni до 35-36 мг/кг дна глубине 70 см. *Колонка* 35097. Из-за небольшой длины колонки прослеживается только два максимума — от 0 до 14 см (максимальная концентрация на глубине 3-4 см — 64 мг/кг, ко дну она уменьшается до 51 мг/кг). Второй от 20-21 см до 43-44 см (максимальное значение 69 мг/кг, горизонт 32-33 см). Между ними — минимум с фоновыми концентрациями 36-45 мг/кг.

Хром. В большинстве колонок заметны 2 четких максимума. Первый, менее значительный и протяженный, охватывает горизонт 0-20 см; самые высокие концентрации достигают 98-146 мг/кг на глубинах 5-16 см. Только колонка 37057 демонстрирует значение 105 мг/кг на горизонте 0-1 см. Второй максимум связан с большими глубинами (21–62 см), характеризуется большой продолжительностью и высокими экстремальными значениями (121-163 мг/кг). Минимальные значения Cr (от 70 до 110 мг/кг) наблюдаются на глубинах 16-21, 23-29 и 7-20 см.

Обсуждение результатов. Содержание микроэлементов изменяется в широких пределах: минимальные значения в 2-3 (Cu, Zn, Co, Ni, Cr) и в 5-7 раз (Cd, Pb) уступают максимальным. Наибольшие максимальные значения Cu, Co, Cd, Pb, As фиксируются в колонке 37056 в интервале 0-11 см. Минимальные значения большинства элементов (Zn, Co, Ni, Cd, As) наблюдались в колонке 35084 . Колонка 35097 дает для всех восьми элементов максимальные значения среднего арифметического и медианы. Это не может быть следствием различия грансостава осадков, поскольку нормализованные значения показывают аналогичные результаты (для всех элементов кроме Cu). Для меди, кадмия, цинка, свинца, и в меньшей степени мышьяка, характерно четкое увеличение их содержания в верхней части колонок. Максимальные значения Cu во всех колонках фиксировались в интервале от 1 до 7 см, Cd — от 1 до 12 см, Zn — от 10 до 23 см, Pb — от 6 до 13 см (кроме колонки 37057 — 40-41 см), As — от 0 до 15 см (кроме колонки 37057 — 44-45 см). Поведение Cr, Ni и Co не соответствует изменениям концентраций Cu, Pb, Zn и Cd. Для кобальта, никеля и хрома придонные максимумы значений не характерны. Напротив, минимальные значения Cr приходятся на интервал от 1 до 19 см, Co — от 2 до 9 см (колонки 35084 и 35097). Максимальные значения Co приходятся на различные горизонты, расположенные в интервале от 3 до 53 см, Ni — от 32 до 70 см, Cr — от 33 до 55 см. Различные интервалы нахождения максимумов и минимумов концентраций элементов обусловлены пространственно-временной изменчивостью скоростей осадконакопления и различными

геохимическими условиями (прежде всего зависимостью от смены окислительных и восстановительных остановок).

Выводы. Поверхностный слой осадков в Гданьской впадине на глубинах ниже пикноклина демонстрируют признаки обогащения медью, свинцом, цинком и кадмием. Верхние 15-25 см характеризуются увеличением концентрации этих элементов. В придонном горизонте (0-2 см) в значительном количестве случаев фиксируется уменьшение концентраций элементов, связанное с уменьшением антропогенной нагрузки на бассейн Балтийского моря в последние 30 лет. Фоновые концентрации элементов наблюдаются ниже горизонта 25 см. В глубоких колонках могут наблюдаться и другие максимумы концентраций, иногда сопоставимые с поверхностными, но не связанные с техногенным загрязнением осадков. Никель, кобальт и хром в большинстве случаев показывают два максимума — первый от 0 до 20 см, второй более значительный и глубинный. Мышьяк характеризуется аналогичным поведением, однако он не демонстрирует падения концентрации к поверхности дна.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта №19-45-390007.

Литература

1. Геохимия осадочного процесса в Балтийском море / Отв. ред. Е.М. Емельянов, В.Н. Лукашин - М.: Наука, 1986. - 232 с.
2. Григорьев А.Г., Жамойда В.А,, Спиридонов М.А., Шарапова А.Ю., Сивков В.В. Новые данные по истории развития Юго-Вотсочной части Балтийского моря от позднеледниковья до современности // Региональная геология и металлогения. - №40. - 2009. - С. 103-114.
3. Емельянов Е.М. Распределение химических элементов и компонентов в донных осадках и некоторые черты их диагенеза. //Процессы осадконакопления в Гданьском бассейне (Балтийское море) / Отв. ред. Е.М. Емельянов, К. Выпых. - М.: АН СССР, 1987. - С. 217-242.
4. Нефть и окружающая среда Калининградской области. - Калининград: Терра Балтика, 2012. - Т. II. Море. - 576 с.
5. Geochemistry of Baltic Sea surface sediments. Polish Geological Institute — National Research Institute. - Warsaw, 2011. - pp. 138-145.
6. Geology of the Gdansk Basin. Baltic Sea / Emelyanov E.M. (ed.). - Kaliningrad: “Yantarnyj skaz”, 2002. - 496 p.
7. Krek A., Danchenkov A., Ulyanova M., Ryabchuk D. Heavy metals contamination of the sediments of the southeastern Baltic Sea: the impact of economic development // Baltica. - 2019. - Vol. 32. - №1. pp. 51–62.
8. Mažeika J., Dušauskiene-Duž R., Radzevičius R. Sedimentation in the eastern Baltic Sea: lead-210 dating and trace element data implication // Baltica. - 2004. - Vol. 17. - № 2. - pp. 79–92.
9. Mojski J.E. Structural conditions of Pleistocene ice-sheet development. Geological atlas of the Southern Baltic, 1:500 000. - Sopot, Warsaw, 1995. - pp. 20–22.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДЕ РОСТОВЕ-НА-ДОНУ

Мханна А.И.Н.[1],
[1] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

MAIN SOURCES OF POLLUTION AND ASSESSMENT OF THE ATMOSPHERIC AIR-CONDITION IN THE CITY OF ROSTOV-ON-DON

Mkhanna A.I. [1],
[1]Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

В работе проводится оценки влияния метеорологических факторов на качество атмосферного воздуха в городе Ростове-на-Дону по данным метеостанции.

In this research assesses the impact of meteorological factors on air quality in Rostov-on-Don based on data from the weather station.

Введение

Геоэкологические проблемы с каждым днем набирает первостепенное значение. Чаще всего они проявляются в крупных мегаполисах [1]. По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» в 40 субъектах Российской Федерации более 54 процентов городского населения находится под воздействием высокого и очень высокого загрязнения атмосферного воздуха. Проживание людей и их жизнедеятельность в мегаполисах приводит к тому, что меняется химический состав воздушной среды. Именно поэтому проблема загрязнения атмосферного воздуха крупных городов является одной из самых значимых геоэкологических проблем. Очень важным для Ростова-на-Дону является упадок экологического состояния воздушного бассейна, город является крупным административным, экономическим, культурным, научно-образовательным, промышленным центром и важнейшим транспортным узлом Юга России. Многие заводы и комплексы такие, как литейный, комбайновый и др. вносят огромный вклад в загрязнение окружающей среды [2]. Проблема загрязнения воздуха все чаще и чаще становится номер один в городах. Существует классификация, в которой источники загрязнения атмосферы можно разбить на мобильные и стационарные. Следовательно, организации промышленного типа и автомобили являются главной причиной загрязнения воздуха в мегаполисах. Следует учесть, что водный транспорт также наносит вред окружающей среде.

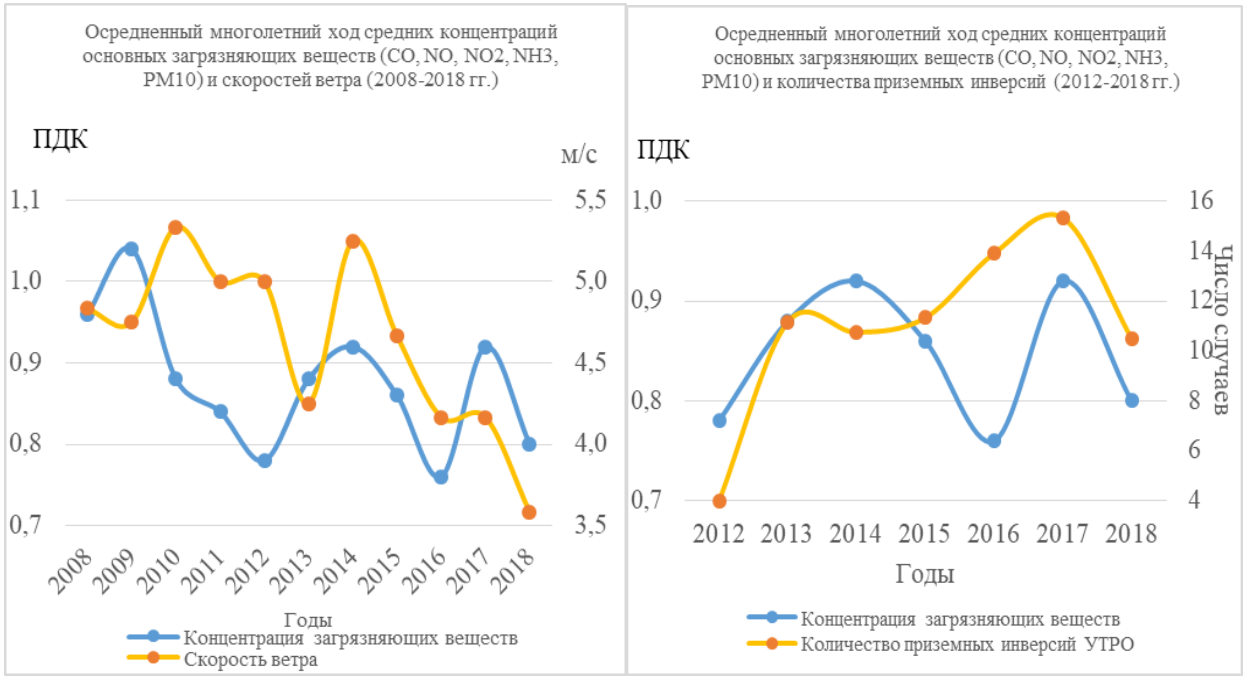
Методы

Основная цель работы заключалась в проведение оценки влияния метеорологических факторов на качество атмосферного воздуха в Ростове-на-Дону по данным метеостанции. Главная проблема современности заключается в загрязнении атмосферы, а также во вредном физическом воздействии на атмосферный воздух в мегаполисах. Данная проблема заслуживает колоссального внимания и по сей день является актуальной, так как воздействие автомобильного транспорта и промышленности на жизнедеятельность людей и на окружающую срежу весьма значительное. Среди метеорологических параметров, влияющих на загрязнение воздуха в городе Ростове-на-Дону, нами были рассмотрены: ветер, температура, инверсия температуры, осадки, туманы, солнечная радиация [3-4]. В качестве объектов исследования был выбран воздушный бассейн города Ростова-на-Дону. Для анализа использовались данные из многолетних архивов погоды в городе Ростове-на-Дону за период с 2008 по 2018 год.

Данные погоды были сопоставлены с данными об изменении уровня загрязнения воздуха различными примесями. Для определения силы связи коэффициентов корреляции была применена шкала Чеддока. Были построены графики многолетнего хода наибольшей повторяемости превышения ПДК и метеорологических параметров в Ростове-на-Дону.

Результаты исследования и их анализ

В работе было проведено сопоставление средних многолетних данных основных метеорологических параметров, измеренных на станции г. Ростова-на-Дону, с данными о количестве основных веществ, которые загрязняют атмосферу. В ходе данной работы удалось установить наличие или отсутствие зависимостей между метеорологическими факторами и загрязняющими веществами.



Выводы

В результате оценки влияния метеорологических факторов на качество воздуха были сформулированы следующие выводы:

1) Большое снижение процента загрязнения атмосферы происходит из-за количества осадков (коэффициент корреляции равняется -0,72, обратная связь).

2) Средняя зависимость загрязнения атмосферы из-за количества туманов и скорости ветра (коэффициенты корреляции: 0,63 и 0,52, прямая связь).

3) Приземные инверсии имеют среднюю зависимость загрязнения воздуха (0,51, прямая связь). От приподнятых инверсий коэффициент слабый (-0,44, обратная связь).

4) Самая слабая зависимость загрязнения наблюдается от температуры воздуха (0,36 – коэффициент корреляции, прямая связь).

Литература

1. Morrison, J. Sustainable development [Text] / J. Morrison. – UK: Profile Books, 2002. – 370 с.

2. Безуглая Э. Ежегодник состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2011 г. [Текст]: / доктор геогр. наук Э.Ю. Безуглая. – Санкт-Петербург, 2012 – 179 с.

3. Гаврилов А.С., Мханна А., Алтлули Р. Прогноз и климатологический анализ характеристик атмосферы, определяющих рассеяние антропогенных загрязнений- Естественные и технические науки. 2008. № 5 (37). С. 322-325.

4. Гаврилов А.С., Мханна А.И.Н., Харченко Е.В. Верификация модели атмосферного пограничного слоя применительно к задачам прогноза загрязнения атмосферы от очагов лесных пожаров - Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2013. № 32. С. 119-129.

ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ЗДОРОВЬЮ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСК

Низамутдинов Т.И.[1,2], Колесникова Е.В.[2], Алексеев Д.К.[2]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет,

[2]Российский государственный гидрометеорологический университет Санкт-Петербург, Россия

FEATURES OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF HEALTH RISK FOR THE POPULATION OF ARKHANGELSK

Nizamutdinov T.I.[1,2], Kolesnikova E.V.[2], Alekseev D.K.[2]

[1]Sankt-Petersburg state university,

[2]Russian State Hydrometeorological university, Sankt-Petersburg, Russia

Для города Архангельск рассчитан индивидуальный и популяционный канцерогенный риск здоровью населения. Результаты картированы. Выявлена зависимость риска от количества и плотности зеленых насаждений.

For the city of Arkhangelsk, the individual and population carcinogenic risk to public health was calculated. The results are mapped. The dependence of the risk on the quantity and density of green spaces was revealed.

Проблема снижения пагубного воздействия выбросов загрязняющих веществ на здоровье населения крупных промышленных городов будет оставаться актуальной все время пока активно идет процесс урбанизации и наращивания промышленных производств. Однако, зеленые насаждения могут стать достаточно мощным инструментом по борьбе с запыленностью и загрязнением воздуха городов, что показано в работах многих российских и зарубежных исследователей. Санитарно-гигиенические функции зеленых насаждений известны, и в основном сводятся к следующим:

- Снижение запыленности и загазованности воздуха,
- Газозащитная роль зеленых насаждений,
- Ветрозащитная роль зеленых насаждений,
- Фитонцидное действие зеленых насаждений,
- Влияние насаждений на тепловой режим,
- Влияние зеленых насаждений на влажность воздуха,
- Влияние зеленых насаждений на образование ветров,
- Значение зеленых насаждений в борьбе с шумом,
- Декоративно-планировочные функции зеленых насаждений.

Однако количественная оценка функции зеленых насаждений города связана с определенными трудностями и проводится редко. В России есть возможность сделать оценку качества атмосферного воздуха в городе при наличии и отсутствии зеленых насаждений (учитывая период вегетации). Так же нам представляется интересным привлечение к этой проблеме методов рискологической концепции Всемирной Организации Здравоохранения. Таким образом целью работы стало исследовать

основные закономерности пространственного распределения и временной изменчивости риска для здоровья населения на примере г. Архангельска и выявить степень влияния на уровень риска количества и качества зеленых насаждений.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- Провести расчет, оценку и анализ канцерогенного риска для взрослого населения г. Архангельска за многолетний период;
- Выявить основные факторы формирования риска здоровью населения крупных городов, основные тенденции;
- При помощи анализа ДДЗ оценить качество зеленых насаждений;
- Провести картирование риска для здоровья населения;
- С помощью статистической обработки данных выявить степень связи ICR и качества зеленых насаждений.

Архангельск – крупный промышленный город севера европейской части России с населением 348 343 чел. (2019). В городе функционирует множество крупных промышленных предприятий, таких как предприятия целлюлозно-бумажной промышленности, предприятия теплоэнергетики и деревообрабатывающей промышленности. Качество атмосферного воздуха города характеризуется повышенным уровнем загрязнения и определяется превышением среднегодовых ПДК формальдегида и бенз(а)пирена.

В работе были использованы смоделированные среднегодовые концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе города Архангельск за 2010 год. Данные получены на основе результатов работ по составлению сводного тома "Охрана атмосферы и предельно допустимые выбросы (ПДВ) города Архангельска" для нужд муниципального образования "Город Архангельск". В рамках сводного тома ПДВ по г. Архангельску учтены выбросы 94 промышленных предприятий и автотранспортных потоков на 15 основных автомагистралях города.

Для подтверждения полученных результатов ряд расчетов и расширения спектра исследования в работе проведены расчеты по другому крупному городу, Уфе, на базе наблюдений ФГБУ «Башкирское УГМС», позволили оценить колебания концентраций по 6 стационарным постам города Уфы и по ежедневным измерениям концентраций (7, 13 и 19 часов) канцерогенных веществ (бенз(а)пирена)в атмосферном воздухе.

Видовое разнообразие деревьев и кустарников в г. Архангельске крайне невысокое. Преобладающей породой является сосна, которая занимает 48 %, ель занимает 4 %. Высока доля лиственных пород, которые занимают вместе 43% площади. Из них преобладает берёза –22 % и разные виды ив – 15 % и в меньшей степени ольха серая – 5 % и осина – 2 %. По жизненным формам преобладают деревья и крайне мало кустарников. Таким образом, г. Архангельск безусловно обеднен растительностью, что безусловно, в совокупности с с выбросами от автотранспорта и промышленности повышает риск здоровью горожан.

Нужно отметить, что обеспеченность зелеными насаждениями в разных городах России неодинакова, на каждого жителя города приходится совершенно разное количество зеленых насаждений:

- в Москве – 16 м^2,
- в Санкт-Петербурге – 13,8 м^2,
- в Уфе – 25-30 м^2,
- в Архангельске – 2,4 м^2.

В то время, как по нормативным документам норма зеленых территорий общего пользования на одного человека должна составлять 10-15 м².

Для количественной оценки риска здоровью населения было принято решение использовать расчетное значение индивидуального канцерогенного риска (ICR). ICR – оценка вероятности развития неблагоприятного эффекта у экспонируемого индивидуума, например, риск развития рака у одного индивидуума из 1000 лиц, подвергавшихся воздействию (риск 1 на 1000 или 1×10^{-3}) [1].

Методикарасчета ICR согласноруководствуВОЗ(Environmental health risk assessment: guidelines for assessing human health risks from environmental hazards. ISBN: 978-1-74241-766-0)по оценке риска здоровью населения основывается на связи данных о величине экспозиции (дозы) LADD и значении канцерогенного потенциала (единичного риска) SF (SlopeFactor) .За стандартные параметры индивидуума для расчета LADD применялись осредненные параметры для взрослого человека, приведенные в руководстве[2,3].

Для города Архангельск за 2010 год минимальные значения ICR равные 8×10^{-9} наблюдается в районе города с большим количеством зеленых насаждений. В центре города, где наблюдается плотная жилая застройка и высокий уровень автомобильного трафика значение ICR существенно выше, в частности вблизи Архангельской ТЭЦ наблюдается максимальное значений ICR равное 4×10^{-8}.

Наиболее популярным и активно использующимся для широкого круга задач, связанных с дистанционным мониторингом растительности, вегетационным индексом является индекс NDVI - нормализованный относительный индекс растительности (NormalizedDifferenceVegetationIndex), выведенный Такером в 1979 году. Величина индекса NDVI может колебаться от – 1,0 до 1,0 [4,5].

На территории города Архангельск характерна низкая степень развития растительности при среднем значении NDVI для города равном 0,34. Зеленые насаждения распределены неравномерно, в центре города и промышленной зоне наблюдается большая фрагментированность.

Проведение корреляционного анализа временных рядов NDVI и ICR (таблица 1) показало, что значение линейного коэффициента корреляции r в большинстве случаях отрицательно (в среднем для всех случаев r = − 0,5), что говорит об обратной зависимости между NDVI и ICR, из чего можно сделать вывод о том, что на величину риска для здоровья оказывает влияние количество и качество зеленых насаждений.

Таблица 1 –Значения коэффициента корреляции (r) между ICR и NDVI

Год	Пост 5	Пост 17	Пост 23	Пост 14	Пост 18
2012	-0,75	-0,60	-0,73	-0,67	-0,61
2013	-0,58	-0,59	-0,56	-0,50	-0,61
2014	-0,56	-0,53	-0,22	-0,63	-0,55
2015	-0,61	-0,58	-0,46	-0,62	-0,92
2016	-0,42	0,15	0,11	-0,60	0,26

В результате проделанной работы статистическими, картографическими и визуальными методами анализа геоэкологической информации доказано влияние зеленых насаждений на уровень риска для здоровья населения крупных промышленных городов. Проведенное исследование подчеркивает важность сохранения и увеличения количества зеленых насаждений в крупных промышленных городах, так как при росте урбанизации пагубное воздействие промышленности на население городов будет постоянно увеличиваться.

Литература

1. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. (РД 2.1.10.1920-04). М: ФедеральныйцентрГоссанэпиднадзораМинздраваРоссии, 2004.

2. Ваганов, П. А. Риск смерти и цена жизни. //Правоведение. -1999. - № 3. - С. 67 - 82

3. Environmental health risk assessment: guidelines for assessing human health risks from environmental hazards. ISBN: 978-1-74241-766-0.

4. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покроваРоссии. - М.: ИКИ РАН, 2016. - 208 с.

5. Tucker C. (1979) Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation //Remote Sensing of Environment. 1979. Vol. 8. Iss. 2. pp. 127–150.

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА И ОТЧЕТНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО НАГРУЗКЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ В РАМКАХ ХЕЛЬСИНКСКОЙ КОМИССИИ

Никерина Н.В.,. Задонская О.В

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

FEATURES OF MONITORING AND REPORTING BY RUSSIAN FEDERATION ON LOADING OF POLLUTANTS IN FRAMEWORK OF THE HELSINKI COMMISSION

. Nikerina N.V,. Zadonskaya O.V

State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

В настоящей работе произведено сравнение существующей российской системы мониторинга, с требованиями, изложенными в Руководстве Хельсинкской комиссии (ХЕЛКОМ.) Для оценки поступления загрязняющих веществ с водами контролируемых рек в Балтийское море рекомендуется добавить в обязательную программу мониторинга на замыкающих створах Невы, Луги, Нарвы и Селезнёвки измерения содержания валового азота, ртути и хрома. В замыкающем створе р. Преголя следует включить в режимные наблюдения измерения концентрации валового азота и валового фосфора, а также всех тяжелых металлов.

This paper compares the existing Russian monitoring system with the requests Helsinki Commission (HELCOM) Guidelines calls for. To assess the pollutants inputs from monitored rivers into the Baltic Sea, it is recommended to add measurements of the content of total nitrogen, mercury and chromium to the mandatory monitoring program at the Neva, Luga, Narva and Seleznevka lower gauge lines. At the lower gauge line of the Pregolya river should be included in the mandatory observations measuring of the concentration of total nitrogen and phosphorus, as well as all heavy metals.

Оценка нагрузки загрязняющими веществами на Балтийское море производится в соответствии с Руководством [1], разработанным в рамках Плана действия по Балтийскому морю Комиссии по защите морской среды региона Балтийского моря (ХЕЛКОМ) согласно директивам ЕС [2-5] и методологиям OSPAR [6, 7].

Страны-участницы ХЕЛКОМ, в соответствии с Рекомендацией 37-38/1 [8], обязаны ежегодно представлять отчеты по общей нагрузке, сформированной биогенными и другими загрязняющими веществами, поступающими с водой, со своих территорий в границах водосборного бассейна. Расчетной основой должны служить данные национального мониторинга.

Ежегодные отчеты, содержащие информацию о поступлении биогенных и опасных загрязняющих веществ в Балтийское море, предоставляемые в ХЕЛКОМ, включают данные о:

- суммарном поступлении веществ с водами контролируемых рек;
- суммарной трансграничной биогенной нагрузке;
- суммарном поступлении веществ с неконтролируемых территорий;
- суммарном поступлении веществ из точечных источников, осуществляющих прямой сброс сточных вод в Балтийское море.

В рамках периодической отчетности, страны-участницы раз в 6 лет представляют ХЕЛКОМ более подробные отчеты, которые содержат не только информацию, содержащуюся в ежегодных отчетах, но и данные о:

– поступлении веществ из точечных источников, расположенных на водосборах рек, впадающих в Балтийское море;

– поступлении веществ из диффузных источников, расположенных на водосборах рек, впадающих в Балтийское море;

– фоновом поступлении биогенных веществ с водотоками, включая неконтролируемые территории;

– удержании биогенной нагрузки гидрографической сетью.

Ответственность за расчет нагрузки биогенными и опасными веществами, поступающими в Балтийское море, лежит на Министерстве природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Исполнитель назначается по результатам открытого конкурса.

В настоящее время проведение расчетных работ осложняется несоответствием программы государственного гидрометеорологического мониторинга требованиям отчетности, перечисленным в Руководстве ХЕЛКОМ. Наличие наблюдений за показателями, необходимыми для расчетов в рамках ежегодного раунда отчетности, представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Показатели, необходимые для расчетов нагрузки загрязняющими веществами на Балтийское море в соответствии с Рекомендациями ХЕЛКОМ

Показатель	р. Нева	р. Луга	р. Нарва	р. Селезнёвка	р. Преголя
$БПК_5$	+	+	+	+	+
Рвал	+	+	+	+	-
$P\text{-}PO_4$	+	+	+	+	+
Nвал	-	-	-	-	-
$N\text{-}NH_4$	+	+	+	+	+
$N\text{-}NO_2$	+	+	+	+	+
$N\text{-}NO_3$	+	+	+	+	+
Hg	-	-	-	-	-
Cd	+	+	+	+	-
Zn	+	+	+	+	-
Cu	+	+	+	+	-
Pb	+	+	+	+	-
Ni	+	+	+	+	-
Cr	-	-	-	-	-
Расход	+	+	+	+	+

Плюсом (+) обозначены показатели, наблюдение за которыми ведется системой государственного мониторинга, минусом (-) – показатели, не включенные в перечень режимных наблюдений на перечисленных реках.

В замыкающих створах рек Нева, Луга, Нарва и Селезнёвка не ведутся измерения содержания ртути и хрома, а также валового азота. Содержание общего азота, наблюдаемого сейчас, в отдельные периоды может значительно отличаться от валового. В замыкающем створе р. Преголя отсутствуют наблюдения концентрации валового азота и валового фосфора,

а также всех тяжелых металлов. Для повышения эффективности деятельности российской стороны, направленной на снижение нагрузки на Балтийское море загрязняющими веществами, следует рекомендовать усовершенствование государственного мониторинга в соответствии с требованиями Руководства ХЕЛКОМ.

Оценка нагрузки загрязняющими веществами, поступающими в Балтийское море с водами контролируемых рек (Нева, Луга, Нарва, Селезнёвка и Преголя), производится каждый год, при этом не указывается количество поступающих веществ, наблюдение за которыми отсутствует. В случае р. Преголя в отчетность включается лишь 5 из необходимых 14 показателей.

Поступление загрязняющих веществ с водами трансграничных рек Преголя, Мамоновка и Прохладная, а также пограничной реки Нарва распределяется между сопредельными государствами пропорционально площадям водосбора. Ввиду отсутствия или недостаточности наблюдений за гидрологическими и гидрохимическими параметрами нагрузка биогенными веществами, поступающими в Балтийское море с реками Преголя, Мамоновка и Прохладная, в настоящее время оценивается на основе результатов математического моделирования. Вынос веществ трансграничными реками Нева (водосбор р. Вуокса) и Селезнёвка по соглашению сторон полностью относится к Российской Федерации и рассчитывается на основе данных российского и финского мониторинга.

Нагрузка биогенными и загрязняющими веществами, поступающими в Балтийское море с водами неконтролируемых рек, оценивается методом математического моделирования, как правило, по принципу разбиения территории на суббасейны.

Расчет поступления веществ из точечных источников непосредственно в Балтийское море производится на основании данных отчетности «2-ТП (водхоз)». В отчетности отсутствуют сведения о сбросе валового фосфора, учитывается только фосфор фосфатов. Также сложность состоит в пересчете значений показателей органических ($БПК_{полн.}$ в $БПК_5$) и биогенных веществ (NO_3 в N_{NO3}; NO_2 в N_{NO2}). Некоторые организации отчитываются только по минеральным формам азота, не включая общий (валовый) азот.

Литература

1. PLC-Water HELCOM Guidelines for the annual and periodical compilation and reporting of waterborne pollution inputs to the Baltic Sea [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/08/PLC-Water-Guidelines-2019.pdf (дата обращения: 12.10.2020 г.).

2. Directive 2013/39/EU (EU Water Framework Directive) of the European Parliament and of the Council of 12 August 2013[Электронный ресурс] — Режим доступа: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1602502335616&uri=CELEX:32013L0039 (дата обращения: 12.10.2020 г.).

3. Urban Wastewater Treatment Directive (UWWTD, Council Directive 91/271 EEC, Annex 1) [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0271 (дата обращения: 12.10.2020 г.).

4. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council (QA/QC directive). Technical Specifications for chemical analysis and monitoring of water status [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1602502165305&uri=CELEX:32000L0060 (дата обращения: 12.10.2020 г.).

5. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast) [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1602502245290&uri=CELEX:32010L0075 (дата обращения: 12.10.2020 г.).

6. OSPAR HARP NUT Guideline 2: Guidelines for the Quantification and Reporting of Nitrogen and Phosphorus Discharges/Losses from Aquaculture Plants, 2004, Reykjavik, 10 p.

7. OSPAR HARP NUT Guideline 6: Guideline for the Quantification and Reporting of Nitrogen and Phosphorus Losses from Diffuse Anthropogenic Sources, and natural Background Losses [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://www.ospar.org/documents?v=32354 (дата обращения: 12.10.2020 г.).

8. HELCOM Recommendation 37-38-1 “Waterborne pollution input assessment (PLC-Water)”. Adopted 16 June 2016. Supersedes HELCOM Recommendations 26/2 [Электронный ресурс] — Режим доступа: https://helcom.fi/wp-content/uploads/2019/06/Rec-37-38-1.pdf (дата обращения: 12.10.2020 г.).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕЛКОВОДНОГО ВОДОЕМА

Никитина А.В. [1,2,3], Ляпунова И.А. [1],. Леонтьев А.Л [2,3], Филина А.А. [2,3], Белова Ю.В. [4]

[1]Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия
[2]Научно-исследовательский центр супер-ЭВМ и нейрокомпьютеров, г. Таганрог, Россия
[3]Научно-технологический университет «Сириус», г. Сочи, Россия
[4]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

MATHEMATICAL MODELING OF ICHTIOLOGICAL PROCESSES IN SHALLOW WATER

Nikitina A.V. [1,2,3], Lyapunova I.A. [1],. Leontiev A.L. [2,3], Filina A.A. [2,3] , Yu.V. Belova[4]
[1]Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
[2]Supercomputers and Neurocomputers Research Center, Taganrog, Russia
[3]Science and Technology University "Sirius", Sochi, Russia
[4]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Статья посвящена исследованию и численной реализации графовой модели взаимодействия природных и техногенных факторов в продуктивности мелководного водоема. Проводится анализ распространения импульсов в вычислительной среде.

The article is devoted to the study and numerical implementation of the graph model of interaction and technogenic factors in the productivity of a shallow water body. The analysis of the number of pulses in the computing environment is carried out.

Введение. Изучением балансового равновесия в экосистемах, разработкой математических моделей в биофизике и экологии, а также решением задач планирования и рационального использования биоресурсов занимались многие ученые в России и зарубежом. Анализ стремительных изменений популяционных трендов для разных видов отражен в работах [1-3]. В работе [2] представлено построение графовой модели, структурирующей многовариантные аналитические заключения о взаимодействии природных и антропогенных факторов в экосистеме, представленных в виде множества связанных концептов, а также метод когнитивной структуризации, который позволил на основе орграфа выявить скрытый контур обратной связи, ослабляющий эффективность воспроизводства рыбных популяций. Согласно данным Азовского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (АзНИИРХ), в последнее десятилетие в Азовском море насчитывается всего три из 40 основных вида промысловых рыб: килька, бычок и хамса. Вымирание рыбных популяций происходит из-за загрязнения моря и неконтролируемого вылова рыбы [4].

Постановка задачи. Создание и применение экосистемных моделей является неотъемлемой частью комплексного исследования экологических систем для оценки их состояния, исследования процессов переноса и трансформации загрязнений, процессов эвтрофикации и воспроизводства, включая продуктивность водоема, решения задач рационального использования его ресурсов, сохранения качества вод и модельных прогнозов дальнейшего развития экосистемы под воздействием природных и техногенных факторов [5-7].

• Применение когнитивных методов системного анализа, работающих с качественной информацией, позволяет анализировать сведения о противоречивом влиянии различных факторов.
• Используется подход к структуризации экспертных и мониторинговых сведений в форме когнитивного взвешенного графа, который может использоваться для разработки и обоснования математической модели.
• В качестве вершин когнитивного орграфа выступают природные и техногенные факторы, выступающие в роли концептов, определяющих процессы в экосистеме и влияющих на динамику запасов рыб.

Многовидовая математическая модель динамики промысловой рыбы пиленгас основана на системе нестационарных уравнений конвекции-диффузии-реакции параболического типа с нелинейными функциями источников и младшими производными [6], вид которых для каждого модельного блока S_i определяется следующим образом:

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} + div\left(\mathbf{U}S_i\right) = \mu_i \Delta S_i + \frac{\partial}{\partial z}\left(\nu_i \frac{\partial S_i}{\partial z}\right) + \psi_i,\ \psi_1 = g_1\left(S_1, S_3\right) - \delta_1 S_1 S_2 - \lambda_1 S_1 - \sigma_1 S_1 S_5,$$

(1)

$$\psi_2 = g_2\left(S_1, S_2\right) - \lambda_2 S_2 - \delta_2 S_2,\ \psi_3 = \gamma_3 \lambda_4 S_4 - g_3\left(S_1, S_3\right) + B\left(\tilde{S}_3 - S_3\right) + f,$$

$$\psi_4 = \lambda_1 S_1 + \lambda_2 S_2 - \lambda_4 S_4 - g_4\left(S_4, S_5\right),\ \ \psi_5 = g_5\left(S_1, S_4, S_5\right) - \lambda_5 S_5 - \delta_5 S_5,$$

где S_i – концентрация i-й компоненты, $i = \overline{1,5}$; ψ_i – химико-биологический источник (сток) или член, описывающий агрегирование (слипание-разлипание), если соответствующая компонента является взвесью, i – вид субстанции, $i = \overline{1,5}$: 1 – концентрации фитопланктона (*Coscinodiscus*) (*P*), 2 – зоопланктона (*Copepoda*) (*Z*), 3 – биогенного вещества (*S*), 4 – детрита (*D*), 5 – пиленгаса (*F*); $\boldsymbol{u}$ – поле скоростей водного потока; $\mathbf{U} = \mathbf{u} + \mathbf{u}_{0i}$ – скорость конвективного переноса вещества; $\mathbf{u}_{0i}$ – скорость осаждения i-й субстанции под действием силы тяжести, $i \in \overline{1,4}$; g_i – трофические функции для субстанций $i \in \overline{1,5}$; $g_1\left(S_1, S_3\right) = \gamma_1 \alpha_3 S_1 S_3$, $g_2\left(S_1, S_2\right) = = \gamma_2 \delta_1 S_1 S_2$, $g_3\left(S_1, S_3\right) = \alpha_3 S_1 S_3$, $g_4\left(S_4, S_5\right) = \beta_4 S_4 S_5$, $g_5\left(S_1, S_4, S_5\right) = \left(\gamma_5 \beta_4 S_4 + \xi_5 \sigma_1 S_1\right) S_5$; α_3 – коэффициент потребления биогенного вещества фитопланктоном; $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_5$ – передаточные коэффициенты трофических функций; γ_3 – доля питательного вещества, находящегося в биомассе фитопланктона; λ_1 – коэффициент, учитывающий смертность и метаболизм *P*; δ_1 – убыль фитопланктона за счет выедания зоопланктоном; λ_2, λ_5 – коэффициенты элиминации *Z, F* соответственно; δ_2 – убыль зоопланктона за счет выедания рыбами; δ_5 – убыль пиленгаса за счет вылова; $\tilde{S}_3$ – предельно возможная концентрация биогенного вещества; $f = f\left(t, x, y, z\right)$ – функция источника загрязнения; B – удельная скорость поступления загрязняющего вещества; λ_4 – коэффициент разложения детрита; β_4 – скорость потребления органических остатков пиленгасом; σ_1 – коэффициент убыли фитопланктона в результате потребления его пиленгасом; ξ_5 – передаточный коэффициент роста концентрации пиленгаса за счет фитопланктона; μ_i, ν_i – диффузионные коэффициенты в горизонтальном и вертикальном направлениях субстанций $i \in \overline{1,5}$; Δ – двумерный оператор Лапласа.

Расчетная область $\bar{G}$ (Азовское море) представляет собой замкнутую область, ограниченную невозмущенной поверхностью водоема Σ_0, дном $\Sigma_H = \Sigma_H(x, y)$ и цилиндрической поверхностью σ для $0 < t \le T_0$. $\Sigma = \Sigma_0 \cup \Sigma_H \cup \sigma$ – кусочно-гладкая граница

области G, $\boldsymbol{n}$ – вектор внешней нормали к поверхности; $\mathbf{U_n}$ – нормальная по отношению к $\sum$ составляющая вектора скорости водного потока. Начальные условия: $S_i\big|_{t=0} = S_{i0}(x,y,z),\ i=\overline{1,5}.$ Граничные условия: $S_i=0$ на σ, если $\mathbf{U_n}<0$; $\partial S_i/\partial \mathbf{n}=0$ на σ, если $\mathbf{U_n}\geq 0$; $\partial S_i/\partial z=\varphi(S_i)$ на Σ_0; $\partial S_i/\partial z=-\varepsilon_i S_i$ на Σ_H, $\varepsilon_1,\varepsilon_2,\varepsilon_3,\varepsilon_4,\varepsilon_5$ – неотрицательные постоянные; $\varepsilon_1,\varepsilon_3,\varepsilon_5$ – учитывают опускание планктона и рыб на дно и их затопление; $\varepsilon_2,\varepsilon_4$ – учитывают поглощение биогенного вещества и детрита донными отложениями; φ – заданная функция.

Схематически модель *«рыба – фитопланктон – зоопланктон – питательные вещества – детрит»* ($P-Z-S-D-F$) представлена в виде орграфа (рис. 1).

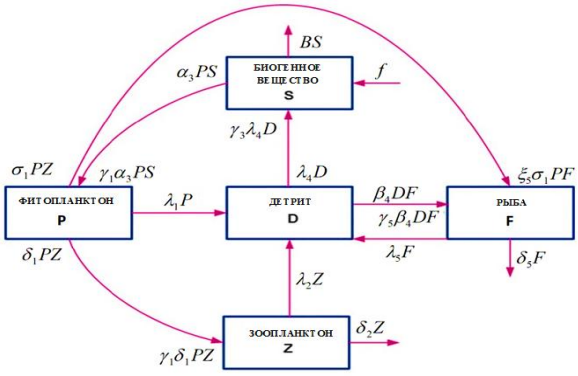


Рис.1. Схема *P-Z-S-D-F* модели

Использование архитектуры параллельных вычислений NVIDIA CUDA. В настоящее время разрабатываются параллельные алгоритмы для численной реализации взаимосвязанных математических моделей гидрофизики и биологической кинетики, которые будут адаптированы для гибридных вычислительных систем с использованием архитектуры NVIDIA CUDA. Анализ характеристик архитектуры CUDA показал применимость алгоритмов численной реализации разработанных математических моделей гидродинамики и биологической кинетики для создания высокопроизводительных информационных систем (рис.2).

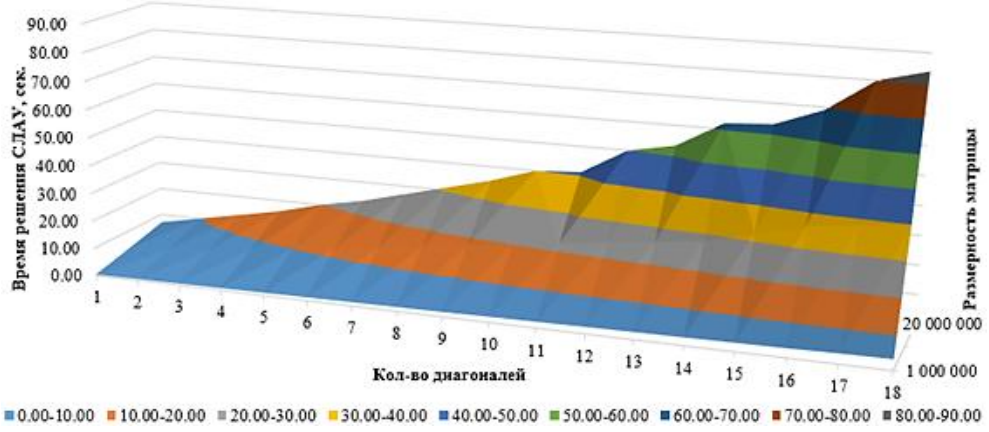


Рис.2. График зависимости времени решения СЛАУ от порядка квадратной матрицы и числа ненулевых диагоналей

Разработаны эффективные параллельные алгоритмы численной реализации задачи биологической кинетики (1) с соответствующими начальными и граничными условиями, ориентированные на многопроцессорную вычислительную систему и графический ускоритель NVIDIA Tesla K80 с модификацией формата хранения данных, которые позволили проанализировать продукционные процессы популяций биоценозов

мелководного водоема в реальном и ускоренном масштабах времени. Разработанный комплекс прикладных программ позволяет численно решать поставленные вычислительно-трудоемкие задачи, а также проводить численные эксперименты при различных гидрометеорологических ситуациях (рис.3). Применение суперкомпьютерных технологий позволило сократить время решения поставленных модельных задач и сохранить требуемую точность моделирования динамики биоценозов мелководных водоемов [7-9]. Проведены теоретические расчеты ускорения и эффективности параллельных алгоритмов. Разработанное программное обеспечение предназначено для математического моделирования возможных сценариев развития экосистем мелководных водоемов на примере Азово-Черноморского бассейна. При параллельной реализации использованы методы декомпозиции сеточных областей для вычислительно трудоемких задач диффузии-конвекции, учитывающие архитектуру и параметры МВС, разработаны алгоритмы для оптимального распределения данных между процессорами.

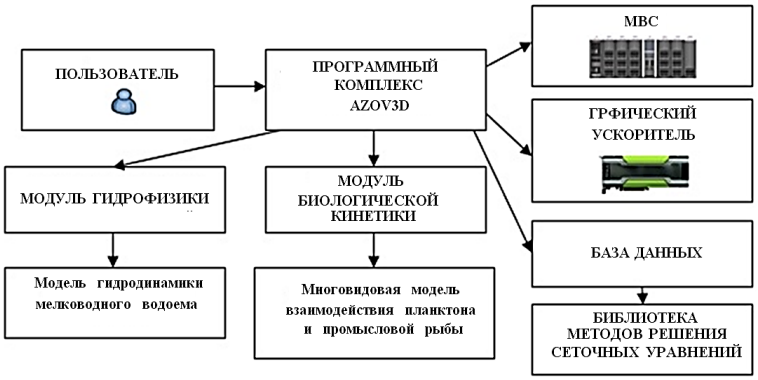


Рис.3. Схема работы программного комплекса AZOV 3D

Заключение. Проведен анализ нелинейных эффектов в процессах биологической кинетики с учетом эффектов Ферхюльста и Олли, конкуренции за ресурсы, таксиса, вылова, пространственного распределения питательных веществ и детрита на основе многовидовой модели взаимодействия фито-, зоопланктона и промысловой рыбы пиленгас. Исследовано влияние конкуренции за ресурсы, особенностей пищевой цепи, биотических и абиотических факторов на процессы воспроизводства рыбной популяции в водной экосистеме. На основе графовой модели взаимодействия природных и техногенных факторов в продуктивности мелководного водоема разработана многовидовая модель взаимодействия планктона и промысловой рыбы пиленгас в Азовском море.

Для экологических задач перспективны модификации методологий применения когнитивных орграфов, позволяющих на качественном уровне формализовать ситуацию в виде множества концептов и направлений передачи воздействия по различным путям.

Литература

1. Бердников С.В. Экспедиционные исследования южного научного центра РАН в 2018 г. Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген // Материалы конференции: электронный ресурс. 2019. С. 12–27.

2. Переварюха А. Ю. Графовая модель взаимодействия антропогенных и биотических факторов в продуктивности Каспийского моря, Вестн. СамГУ. Естественнонаучн. сер., 2015, выпуск 10(132), 181–198.

3. Tyutyunov Yu., Senina I., Arditi R. Clustering due to acceleration in the response to population gradient: a simple self-organization model // The American Naturalist. – 2004, 164, pp. 722 – 735.

4. Поважный В.В. Соотношение минимальных пищевых потребностей гребневика *Mnemiopsis leidyi* и продукции мезопланктонного сообщества Таганрогского залива Азовского моря осенью 2006 г. // «Естественные и инвазивные процессы формирования биоразнообразия водных и наземных экосистем», тез. докл. / Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. С. 243-245.

5. Ильичев, В.Г. Устойчивость, адаптация и управление в экологических системах / В.Г. Ильичев. М.: Физматлит, 2009. - 192 с.

6. Никитина А.В. Модели биологической кинетики, стабилизирующие экологическую систему Таганрогского залива. Известия ЮФУ. – 2009, №8 (97). – С.130-134.

7. Никитина А.В., Семенов И.С. Параллельная реализация модели динамики токсичной водоросли в Азовском море с применением многопоточности в операционной системе Windows. Известия ЮФУ. Технические науки. 2013, №1(138). – С. 130-135.

8. Sukhinov A.I., Chistyakov A.E., Ugol'nitskii G.A., Usov A.B., Nikitina A.V., Puchkin M.V., Semenov I.S. Game-theoretic regulations for control mechanisms of sustainable development for shallow water ecosystems // Automation and Remote Control. 2017. Т. 78. № 6. С. 1059-1071.

9. Sukhinov A.I., Chistyakov A.E., Nikitina A.V., Belova Yu.V., Sumbaev V.V., Semenyakina A.A. Supercomputer modeling of hydrochemical condition of shallow waters in summer taking into account the influence of the environment Communications in Computer and Information Science, 2018, 910, с. 336-351.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект №19-31-51017

The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, project No. 19-31-51017

ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ БАЛТИЙСКОГО И СЕВЕРНОГО МОРЕЙ ЗА 120 ЛЕТ

Педченко А.П. [1,2] , канд. геогр. наук, доцент; В.Д. Бойцов[1], д-р геогр. наук
[1] - Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ВНИРО), г. Москва, Россия
[2] - Российский государственный гидрометеорологический университет (ФГБОУ ВО «РГГМУ»), г. Санкт-Петербург, Россия

FEATURES OF LONG-TERM VARIABILITY OF WATER TEMPERATURE IN THE BALTIC AND NORTH SEAS OVER 120 YEARS

Pedchenko A.P., PhD, associate professor; V.D. Boitsov, Dr. Sc.
[1] - Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia
[2] - Russian State hydrometeorological University (RSHU), Saint Petersburg, Russia

Выявлены сходства и различия в структуре многолетних колебаний средней для акваторий Балтийского и Северного морей поверхностной температуры воды в 1900-2019 гг. Установлено, что параметры линейного тренда и квазивекового цикла температуры воды близки к таковым индекса АМО, а 30-летние климатические фазы похолодания в начале и потепления в конце 120-летнего периода были сильнее выражены в Балтийском море, чем с Северном. Выявленные особенности многолетних изменений температурного режима поверхностных вод Северного и Балтийского морей могут быть причинами межгодовых вариаций объема вылова пелагических рыб в этих морях.

Similarities and differences in the structure of long-term fluctuations of the average surface water temperature for the Baltic and North seas in 1900-2019 are revealed. It was found that the parameters of the linear trend and quasi-century cycle of water temperature are close to those of the AMO index, and the 30-year climatic phases of cooling at the beginning and warming at the end of the 120-year period were more pronounced in the Baltic sea than in the North sea. The revealed features of long-term changes in the temperature regime of the surface waters of the North and Baltic seas may be the reasons for interannual variations in the volume of pelagic fish landing in these seas.

Северное море и вся Балтика являются компонентами северо-западный европейского шельфа. В настоящее время эти моря рассматриваются как единая область, в пределах которой определяются новые морские охраняемые районы и запретные зоны, что потребует разработки более совершенных экосистемных моделей, новых схем морского пространственного планирования и зонирования [1]. Реализации этих задач будет способствовать мониторинг состояния экосистем и соблюдения порядка использования их ресурсов (например, правил рыболовства, определенных лицензий и разрешений), а также последствий биотического/абиотического воздействия для определения причин изменений в экосистемах.

Изменение климата и прогнозирование тенденций изменения гидрологических условий регионов - ключевые проблемы, стоящие перед прибрежными государствами. С ними связывают повышение уровня моря, температуры, изменения солености вод, штормовых условий, речного стока и миграций промысловых рыб. Некоторые из них затрагивают Северное море больше, чем Балтийское. Изменение климата можно рассматривать как «экзогенное неуправляемое давление», то есть пока мы управляем

локальными районами, мы не управляем климатом мы просто управляем как его последствиями, так и нашими реакциями на него [2]. Дискретность запасов балтийской сельди, как и других запасов, остается предметом дискуссий и исследований [3, 4].

Исследования особенностей многолетней динамики климата и её влияние на распределение и промысел пелагических видов рыб Балтийского моря [5] показали, что увеличение температуры воды могло быть одной из причин перераспределения промысловых скоплений сельди и шпрота на акватории Балтийского моря, что привело к изменению объёмов их годового вылова в отдельных подрайонах центральной части моря и Финском заливе.

Авторы полагают, что аналогичное воздействие прослеживается в Северном море, что позволит использовать полученные результаты при моделировании возможных сценариев изменения экосистем в масштабе региональных морей.

На первом этапе исследования выполнен анализ межгодовой изменчивости температуры поверхности Балтийского и Северного морей в 1900-2019 гг. и оценена степень влияния климатических факторов на величины их аномалий. Его результаты представлены в данной работе.

Материалы и методы

Анализ межгодовой изменчивости температуры поверхности Балтийского и Северного морей в 1900-2019 гг. проводился по данным ее годовых значений, осредненных в трапециях площадью 2° х 2° по долготе и широте и отнесенных к их центрам. Они взяты из архива NOAA NCDC ERSST [6]. Средняя температура Балтийского моря была получена с использованием 12, а для Северного моря 11 узлов регулярной сетки (рис. 1). Ее климатические нормы вычислялись для периода с 1961 по 1990 г. В работе также анализировались индексы Атлантической мультидекадной осцилляции (Atlant icmultidecadal oscillation - AMO) [7].

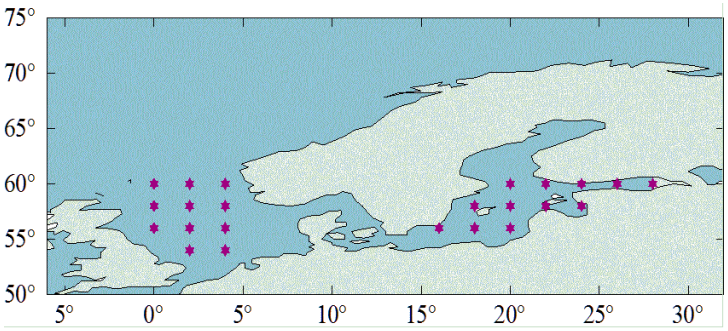


Рис. 1. Положение центров трапеций (звездочка) сетки 2х2° в Балтийском и Северном морях

Выделение линейного тренда и нелинейных компонент при анализе выборок, расчеты коэффициентов корреляции и статистических характеристик проводились с помощью пакета анализ MS Excel 2007. Скорость роста температуры воды за каждые 10 лет определялась по величине коэффициента b уравнения линейного тренда. Спектральный анализ временных рядов был выполнен с помощью программного комплекса AutoSignal» [8].

Результаты

На начальном этапе анализа межгодовых колебаний температуры воды Балтийского и Северного морей была выполнена оценка наличие в ее динамике долгопериодных тенденций. В каждом из этих морей в ее изменчивости присутствует

статистически значимый линейный положительный тренд (рис. 2). Однако их вклад в дисперсию исходных данных не одинаков. Для Балтийского моря он оказался почти в 1,7 раза больше, чем для Северного (38% и 23% соответственно). Примерно такое же соотношение имела и средняя скорость роста температуры воды в 1900-2019 гг. В Балтийском море в течение каждого десятилетия она составляла 0,13 °С, тогда как в Северном море - 0,07 °С/10 лет. Следует также отменить, что дисперсия исходных данных температуры воды первого моря в два раза превышает этот показатель второго.

После элиминации из исходных данных значений линейного тренда в многолетних колебания температуры воды Балтийского и Северного морей за 120-летний период были выявлены долгопериодные составляющие, аппроксимированные полиномами 5-й степени, которые могут являться квазивековыми циклами (рис. 3). Их доля в изменчивости исходных данных составила 13 и 17% соответственно, т.е. у Северного моря вклад этой компоненты был больше, чем у Балтийского.

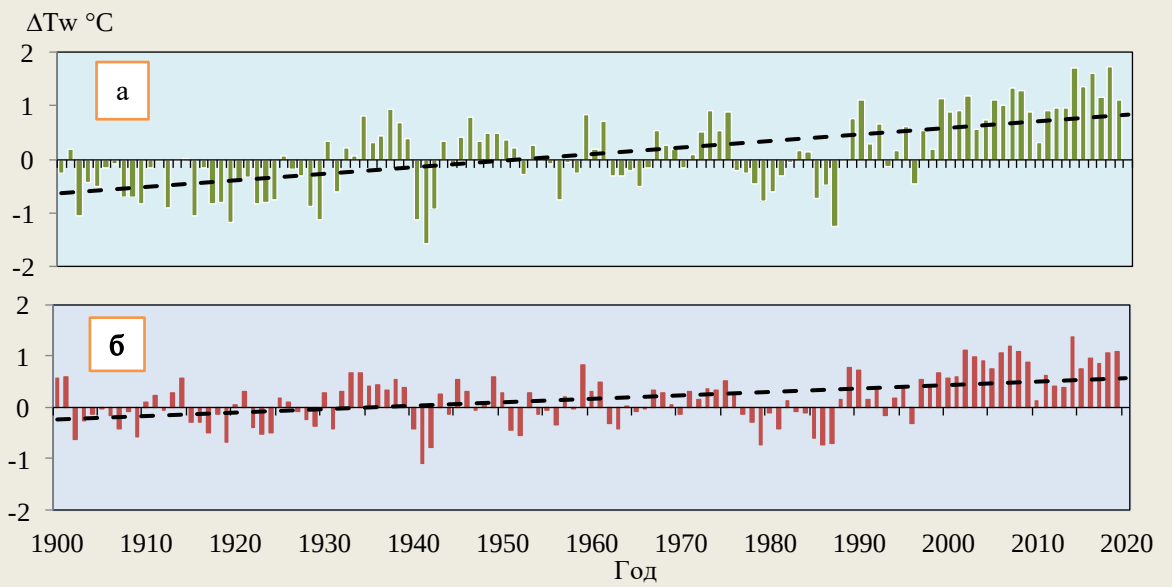


Рис. 2. Аномалии температура воды Балтийского (а) и Северного (б) морей в 1900-2019 гг. и их линейные тренды (пунктир)

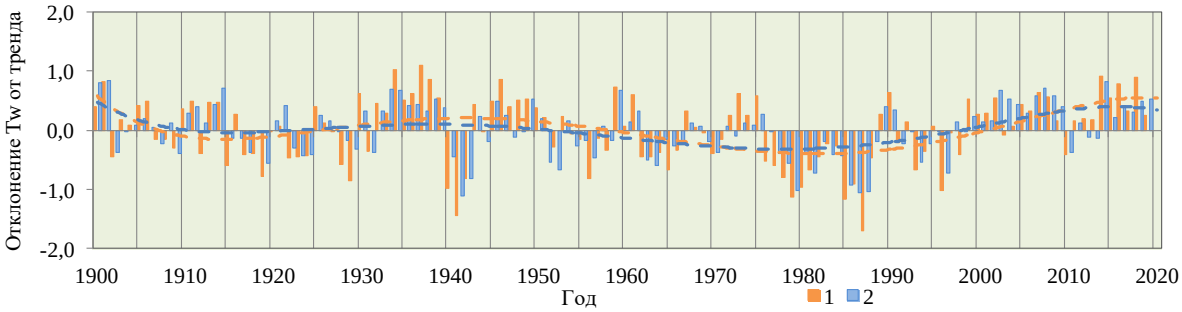


Рис. 3. Отклонения температуры воды Балтийского (1) и Северного (2) морей от значений
линейного тренда и выделенный квазивековой цикл (пунктирная кривая)

Для оценки структуры колебаний температуры воды Балтийского и Северного морей в области средних и высоких частот выполнен спектральный анализ данных после исключения из исходных выборок значений линейного тренда и квазивекового

цикла. Расчеты показали отсутствие в их частотном составе существенных различий. Значимыми являются пики спектральной плотности соответствующие квазипериодам 12-13, 7-8, 5 лет и 2 года. Близость частотной структуры колебаний температура воды этих море подтверждается достаточно высоким коэффициентом корреляции (r = 0,83) между выборками, по которым рассчитывались спектры. Их генезис может быть связан с гелиогеофизическими, циркуляционными гидрометеорологическими факторами и некоторыми другими.

Обсуждение

Наличие в динамике температуры воды Балтийского и Северного морей восходящих линейных трендов обусловлено тем, что в 1900-1931 гг. наблюдалось похолодание, а в 1988-2019 гг. потепления их водных масс. До 1932 г. в Балтийском море отмечено существенное понижение температуры (аномалия -0,50 °С). В Северном море похолодание в этот период было слабым (аномалия -0,11 °С). Только в отдельные годы температура понижалась более чем на 0,40 °С относительно климатической нормы. В 1988-2019 гг. в каждом из морей температура воды в основном превышала среднемноголетний уровень. В Балтийском море средняя положительная аномалия составила 0,83 °С, а в Северном - 0,64 °С. Следовательно сумма абсолютных значений отклонений температуры от нормы холодного и теплого периодов первого водоема составила 1,33 °С, а второго только 0,79 °С, что во многом и определило различия основных характеристик линейных трендов, которые могут быть частью низкочастотных составляющих с периодом, превышающим длину выборок.

Квазивековые ритмы в структуре изменчивости температуры воды Балтийского и Северного море в 1900-2019 гг. имеет два минимума и два максимума. По времени их наступления можно предположить, что их продолжительность составляет 70-80 лет. Первое понижение температуры произошло в конце 1-й – середине 2-ой декад прошлого столетия, а повышение пришлось на период потепления Арктики 1930-1940-е годов. Второй ее низкий уровень за счет квазивекового цикла длился со 2-й половины 1970-х по 2-ю половину 1990-х годов, после чего наступило современное потепление климата (см. рис. 3).

Относительно недавно в изменчивости температуры поверхности Северной Атлантики была выявлена ритмичность со средним периодом 65 - 80 лет, которую. в дальнейшем подтвердили данные наблюдений и модельные расчеты [9, 10]. На рисунке 4 представлен график аномалий среднегодового индекса АМО и присутствующий в его колебаниях цикл, аппроксимированный полином 5-й степени. Время наступления минимумов и максимумов нелинейной компоненты в целом совпадает с таковыми квазивекового цикла температуры воды Балтийского и Северного морей (см. рис. 3). Следует отметит, что первоначально из выборки индекса АМО был удален положительный линейный тренд, Поэтому суммарно параметры долгопериодных климатических составляющих в его динамике сходны с таковыми у температуры воды исследуемых морей и имеют высокую статистическую связь: АМО - Балтийское море r = 0,93 и АМО - Северное море r = 0,88.

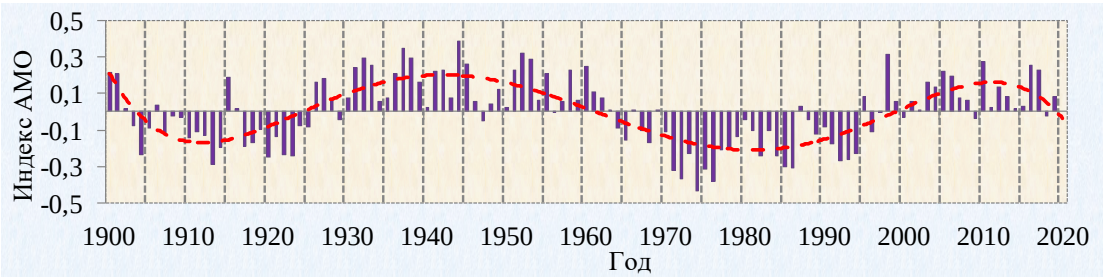


Рис. 4. Изменение аномалий индекса АМО в 1900-2019 гг. и его долгопериодная компонента (пунктир)

Одним из возможных механизмов поддержания АМО может быть сдвиг фаз между долгопериодными изменениями потоков тепла на границе раздела океан–атмосфера в высоких широтах Северной Атлантики и величинами меридиональных переносов тепла в Субтропической Атлантике [11, 12]. Поскольку гидрологический режим Северного и Балтийского морей во многом зависит от поступления теплых вод из Атлантики, это может быть причиной существования тренда и квазивекового цикла в динамике их температуры воды.

Как отмечалось выше, с 1988 по 2019 г. температура поверхностного слоя вод Балтийского и Северного морей стала в основном превышать среднемноголетний уровень, т.е наступил новый период потепления их водных масс. Расчет скорости этого процесса показал, что в Балтийском море она составила 0,37 °С/10 лет, а в Северном море – 0,24 °С/10 лет. Причины различий этого показателя и величины аномалий температуры воды морей могут быть обусловлены наличием отрытой границы Северного моря с Атлантическим океаном, разным их местоположением относительно сторон света, а также уровнем их континентальности.

Можно предположить, что глубины, особенности рельефа и адвекции атлантических водных масс в Северное и Балтийские моря определили значительное сходство и некоторые различия в динамике их температуры в 1900-2019 гг.

По мнению авторов, Выявленные особенности многолетних изменений температурного режима поверхностных вод Северного и Балтийского морей могут быть причинами межгодовых вариаций объемов вылова пелагических рыб в этих промысловых районах Северо-Восточной Атлантики.

Литература

1. Boyes, S.J., Elliott, M., Thomson, S.M., Atkins, S., Gilliland, P., 2007. A proposed multiple-use zoning scheme for the Irish Sea. An Interpretation of current legislation through the use of GIS-based zoning approaches and effectiveness for the protection of nature conservation interests. Marine Policy 31, 287–298.
2. J.-P. Ducrotoy, M. Elliott. 2008. The science and management of the North Sea and the Baltic Sea: Natural history, present threats and future challenges/ Marine Pollution Bulletin 57 (2008) 8–21. doi:10.1016/j.marpolbul.2008.04.030
3. Smith, P.J., and A. Jamieson. 1986. Stock discreteness in herrings: A conceptual revolution. Fish. Res. 4:223-234.
4. Stephenson, R.L. 1991. Stock discreteness in Atlantic herring: A review of arguments for and against. In: Proceedings of the International Herring Symposium. University of Alaska Sea Grant, AK-SG 91-01, Fairbanks, pp. 659-666.
5. Педченко А.П., Бойцов В.Д. Особенности многолетней динамики климата и её влияние на распределение и промысел сельдевых видов рыб Балтийского моря // Труды ВНИРО. 2020. Т. 180. С. 44–59. DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-44-59
6. [Электронный ресурс URL:http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/. NCDC/.ERSST/. Version4/.sst/].
7. [Электронный ресурс URL:http://www.psl.noaa.gov/data/timeseries/AMO/].
8. Users Guide, 2003 by SeaSolve Software Inc. AutoSignal.
9. Knight J. R., Folland C. K, Scaife A. A. Climate impacts of the Atlantic Multidecadal Oscillation//Geophys. Res. Lett., 2006. V.33. No L17706. DOI:10.1029/2006GL026242.
10. Chylek P., Lesins G. Multidecadal variability of Atlanhurricane activity: 1851–2007 //Journal of Geophysical Research, 2008. V.113.No No D22106.doi:10.1029/2008JD010036.
11. Федоров В. М. Инсоляция Земли и современные изменения климата. М.: Физматлит, 2018. – 232 с.
12. Дианский Н.А., Багатинский В.А. Термохалинная структура вод Северной Атлантики в различные фазы Атлантической мультидекадной осцилляции. Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. Т. 55, № 6. – С. 157-170. DOI: 10.31857/S0002-3515556157-170.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОНВЕКЦИИ И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИАМУРЬЯ

Перерва Н. И., Шамилова Ю.А.
ФГБУ «Дальневосточное УГМС», ДЦ ФГБУ «НИЦ «Планета», Хабаровск, Россия

EXPERIENCE OF USING SATELLITE DATA FOR MONITORING CONVECTION AND RELATED DANGEROUS WEATHER PHENOMENA IN THE AMUR REGION

Pererva N. I., Shamilova Ju. A.
Federal State Budgetary Institution Far Eastern Directorate for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Far-Eastern Center of State Research Center for Space Hydrometeorology «Planeta», Khabarovsk, Russia

В работе представлен обзор перспективных методов мониторинга глубокой конвекции по данным дистанционного зондирования Земли на территории Приамурья. Показано, что исследуемые разработки могут применяться в качестве дополнительных, а иногда и основных инструментов в задачах наукастинга конвекции и связанных с ней потенциально опасных явлений погоды (ОЯ) на разных стадиях развития. Продемонстрированы преимущества комплексного использования спутниковых и модельных данных для оценки условий возникновения глубокой конвекции на примере оценки общего влагосодержания атмосферы совместно с индексами неустойчивости. Проведён анализ случаев возникновения ОЯ, в том числе выпадения крупного града, на основе которого сделаны выводы о возможности выявления на ранней стадии прогностических признаков градообразования с выделением зон скопления ледяных кристаллов по данным спутникового зондирования атмосферы.

The paper presents an overview of promising methods for monitoring deep convection based on data from remote sensing of the Earth in the Amur region. It is shown that the investigated developments can be used as additional and sometimes basic tools in the problems of convection nowcasting and associated potentially hazardous weather phenomena at different stages of development. The advantages of the integrated use of satellite and model data for assessing the conditions for the occurrence of deep convection are demonstrated by the example of analyzing the total precipitable water of the atmosphere together with the atmospheric instability indexes. An analysis of the cases of the occurrence of hazardous weather phenomena, including hailstorms, was carried out, on the basis of which conclusions were drawn about the possibility of detecting at an early stage predictive signs of hail formation with the identification of zones of accumulation of ice crystals according to the data of satellite sounding of the atmosphere.

Прогноз опасных явлений погоды (ОЯ) конвективного характера считается одной из самых актуальных задач современной гидрометеорологии. В теплой период года для территории Приамурья характерна активная грозовая деятельность, нередко грозы сопровождаются интенсивными ливневыми дождями, шквалистыми усилениями ветра, реже – градом, в некоторых случаях достигая критериев ОЯ [1]. Редкая сеть метеорологических, аэрологических и радиолокационных наблюдений в совокупности с недостаточным пространственным разрешением численных моделей служат значительным препятствием при мониторинге глубокой конвекции над территорией Приамурья, поэтому большое внимание уделяется данным спутниковых наблюдений за облачностью, которые при совместном использовании с аэросиноптическим

материалом играют важную роль в задачах прогноза развития кучево-дождевой облачности и ее динамики.

Согласно ряду исследований [2, 3], спутниковый мониторинг конвективной облачности позволяет выделять некоторые особенности в структуре кучево-дождевых облаков, которые могут указывать на их потенциальную опасность с точки зрения продуцирования опасных явлений погоды. В работе [2] предлагается использование так называемого метода стратификации, основанного на вычислении разностей спутниковых каналов 10,8 и 6,2 мкм, температуры тропопаузы, взятой из численной прогностической модели, а также построения карт конвективной активности. Пример использования данного метода на территории Приамурья представлен на рисунке 1.

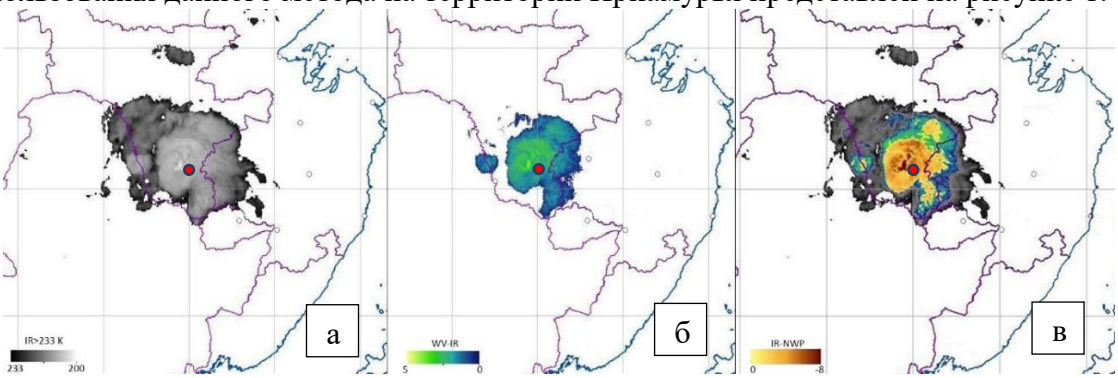


Рис. 1. Визуализация метода стратификации с целью мониторинга конвекции на примере развития мощной кучево-дождевой облачности над Приамурьем 25 июля 2020 г. по данным КА «Himawari-8»: а – области с яркостной температурой < 233 К; б – положительные значения разности WV – IR; в – отрицательные значения разности IR – NWP; красный кружок – местоположение Братолюбовки

На первом шаге в работе алгоритма выделяются районы глубокой конвекции: пиксели теплее 233 К (IR 10,8 мкм > 233 К) исключаются, а те, что холоднее – соотносятся с кучево-дождевыми облаками (рис. 1, а). На втором этапе вычисляется разность водяного пара в канале 6,2 мкм и яркостных температур в инфракрасном канале 10,8 мкм (WV 6,2 мкм – IR 10,8 мкм). Положительные значения этой разности будут указывать на районы глубокой влажной конвекции (рис. 1, б), достигающей больших высот, а максимумы являются признаками образования так называемых куполов кучево-дождевых облаков (англ. overshooting tops), в зоне которых, согласно [3], чаще возникают опасные конвективные явления. На третьем шаге производится расчет разности яркостной температуры IR 10,8 мкм и температуры тропопаузы, взятой из численной модели (IR – NWP). Отбираются пиксели с разностью холоднее значения минус 2 К, которые будут указывать на наличие куполов кучево-дождевых облаков, проявляющихся в виде участков темно-коричневого цвета (рис. 1, в). В зоне максимальных значений описанных выше разностей обычно отмечаются опасные метеорологические явления, включая сильные ливни и очень сильные дожди. Так, например, на момент получения снимка (рисунок 1), то есть 17:30 ВСВ, метеостанция Братолюбовка (рис. 1, красный кружок) наблюдала интенсивный ливневый дождь с ухудшением горизонтальной видимости до 500 метров, а позже отметила сильный ливень и очень сильный дождь. Метод стратификации является перспективным для мониторинга глубокой конвекции в Дальневосточном регионе, так как он может использоваться в течение суток без ограничений по времени.

Другим не менее важным направлением мониторинга районов глубокой влажной конвекции уже на стадии инициации (возникновения) является использование параметра влагозапаса атмосферы (англ. Total Precipitable Water (TPW)) совместно с

индексами неустойчивости (K-index, CAPE, LIFT и т. д.) [4]. TPW представляет собой содержание водяного пара в атмосферном столбе единичного сечения от нижней до верхней границы атмосферы при условии, что весь водяной пар подвергся бы конденсации и выпал в виде осадков на поверхность (измеряется в мм или кг/м^2):

$$TPW = \frac{1}{P_w g} \int_{p_s}^{0} q(p) * dp, \text{ где} \quad (1)$$

P_w – плотность воды, равная 1000 кг/м^3; g – гравитационная постоянная, равная 9,8 м/с^2; q(p) – коэффициент соотношения водяного пара (г/кг) на уровне давления p(гПа); p_s – приземное давление в гПа.

С целью анализа применимости параметра TPW был исследован ряд случаев интенсивной конвекции над территорией Приамурья. Производились вычисления параметра TPW и индексов неустойчивости (K-index, LIFT, CAPE) на базе комплексов обработки спутниковых данных CLAVR-X и MIRS [5], а также прогностической модели WRF, после чего на основании пространственной локализации очагов с высокими значениями TPW и индексов неустойчивости делались прогнозы глубокой конвекции. Рассмотрим пример развития мощной кучево-дождевой облачности 12 июня 2019 г. над территорией Амурской области и Северного Китая (рис. 2).

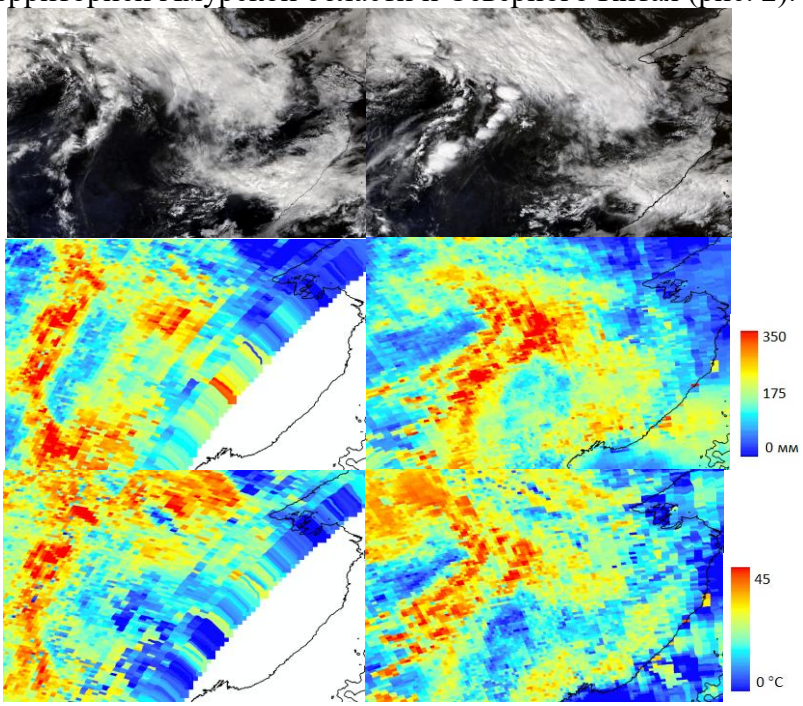


Рисунок 2 – Коллаж синтезированных изображений облачности (верхний ряд) по данным КА «Himawari-8» с картами параметров TPW (средний ряд) и K-index (нижний ряд) за 03 и 06 ВСВ 12.06.2019 г.

Мощная облачность вертикального развития в виде так называемой линии неустойчивости формировалась над северными районами КНР, северной периферией захватывая Амурскую область. Другой крупный массив конвективных облаков располагался над юго-востоком Амурской области. Процесс образования кучево-дождевой облачности носил стремительный характер. Анализ пространственного распределения параметров TPW и используемых в работе индексов неустойчивости показал наличие плюма влажного воздуха и зоны высокой (потенциальной) неустойчивости атмосферы (значения K-index около 30-40°C) над районом Северного Китая, что является признаком влажной конвекции в указанном районе.

Другим примером использования спутниковой информации с целью мониторинга интенсивной конвекции является анализ случая выпадения крупного града в Еврейской АО 13 июня 2020 г., который привел к крупному ущербу. Формирование града в кучево-дождевых облаках происходит в результате слияния переохлажденных капель воды с зернами крупы, при котором наблюдается замерзание капель. Наиболее крупные градины образуются вследствие смерзания более мелких [6]. Параметр graupel water path, который отражает наличие ледяной крупы в облаке, вычисляется на базе программного комплекса MIRS [5]. На рисунке 3 видно, что облака, из которых выпал крупный град, имели в своей структуре очаги с крупой, причем их положение в целом соответствует району градобития. О высоком содержании ледяных кристаллов, необходимых для роста градин, свидетельствует их значительная концентрация в верхней тропосфере на уровне около 400 гПа по данным спутникового зондирования атмосферы. Таким образом, описанные выше параметры в дальнейшем могут быть полезными для отслеживания градоопасной облачности.

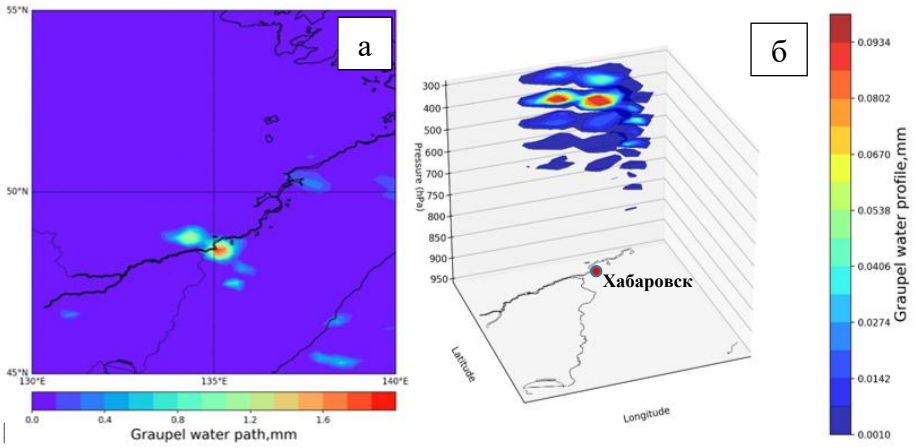


Рисунок 3 – Распределение параметра graupel water path за 0817 ВСВ 13.06.2020 г. по данным КА NOAA-19 (прибор AMSU + MHS): а – картографическое отображение; б – вертикальный разрез

Исследования описанных методов мониторинга конвекции и связанных с ней явлений погоды будут продолжены, в том числе с возможностью применения технологий машинного обучения и нейросетей, которые могут быть полезными для адаптации алгоритмов в условиях умеренных широт и с учетом сезонных особенностей циркуляции атмосферы над Дальневосточным регионом.

Литература

1. Наставление по краткосрочным прогноза погоды общего назначения (РД 52.27.724-2019). – Москва: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019, - 59 с.
2. A method for convective storm detection using satellite data [электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187623617300358
3. Overshooting cloud top detections using MSG SEVIRI Infrared brightness temperatures and their relationship to severe weather over Europe [электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169809510002589
4. Global Instability Index: Product Guide [электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.eumetsat.int/website/home/Data/TechnicalDocuments/index.html
5. Microwave Integrated Retrieval System (MIRS), User Manual [электронный ресурс] – Режим доступа: ftp://ftp.cira.colostate.edu/ftp/Kidder/MIRS_Documents/MIRS_Users_Manual.pdf, https://www.star.nesdis.noaa.gov/mirs/documents/documentation/doc_v11r3/MIRS_Users_Manual.pdf
6. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии, физика атмосферы [Издание второе, переработанное и дополненное] / Л. Т. Матвеев. – Ленинград: Гидрометиздат, 1984, – 502 с.

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЛАЖНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ О. БОЛЬШЕВИК В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

Першина Н.А., Полищук А.И., Семенец Е.С.
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», Санкт-Петербург, Россия

THE CHEMICAL COMPOSITION OF WET DEPOSITION ON THE BOLSHEVIK ISLAND TERRITORY OF THE NORTH EARTH ARCHIPELAGO

Pershina N.A., Polischuk A.I., Semenets E.S.
Voeikov Main Geophysical Observatory, Saint-Petersburg, Russia

Приводятся результаты наблюдений за химическим составом атмосферных осадков и снежного покрова на Научно-исследовательском стационаре (НИС) «Ледовая база «Мыс Баранова», расположенном на острове Большевик архипелага «Северная Земля», полученных в период 2015-2019 гг.

The results of observations on the chemical composition of atmospheric precipitation and snow cover on the island of Bolshevik of the archipelago Severnaya Zemlya, obtained in the period 2015-2019 are presented.

Активное изучение и освоение Арктики, необходимость слежения за экологическим состоянием Северного Ледовитого Океана, особенно его высокоширотных архипелагов и прибрежных областей, обусловливают в настоящее время в качестве главной задачу организации мониторинга системы атмосфера – суша – ледяной покров – океан по всему комплексу метеорологических, гидрофизических, геохимических, гляциологических, геофизических и других параметров.

Научно-исследовательский стационар (НИС) «Ледовая база «Мыс Баранова» расположен на острове Большевик, архипелаг Северная Земля, и по своему местоположению может рассматриваться как репрезентативное место для изучения не только исходного (фонового) состояния окружающей среды [1], но и для дальнейшей оценки изменения антропогенной нагрузки при ускоренном промышленном развитии Арктики.

Исходя из преобладающей розы ветров и направления переноса загрязняющих веществ от промышленных производств на Север, в зимний период года часть выбросов, попав в зону действия крупномасштабных воздушных потоков, устремляется в Арктику. Здесь воздух охлаждается и, как следствие, отмечается интенсивный процесс выпадения загрязняющих веществ на поверхность. Загрязняющие вещества на подстилающую поверхность поступают с атмосферными осадками (влажные выпадения) и в виде сухого осаждения.

Начиная с 2015 г. на НИС в рамках пилотного проекта в соответствии с рекомендациями Главной геофизической обсерватории (ГГО) был организован послойный отбор проб снежного покрова и отбор проб атмосферных осадков с последующим анализом их химического состава в лаборатории ГГО. Во всех отобранных пробах были измерены концентрации основных ионов: SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^-, NO_3^-, NH_4^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, а также удельная электрическая проводимость и величина pH согласно РД 52.04.186-89.

В 2015-2016 гг. точки отбора проб снежного покрова выбирались относительно главного загрязняющего объекта НИС – дизельной электростанции (ДЭС) – на расстоянии 50 м, 100-150 м и 1500-1800 м. В отличие от принятого на сети Росгидромета отбор проб проводился из трех слоев. Это позволило получить динамику

загрязнения снежного покрова и оценку миграции компонентов в течение периода залегания. По результатам полученных данных был сделан вывод о неоднородности химического состава снежного покрова, как по вертикальному, так и по горизонтальному профилю. В качестве примера на рис. 1 представлено распределение минерализации и содержание хлоридов и сульфатов по слоям снежного покрова, отобранного в апреле 2015 г.

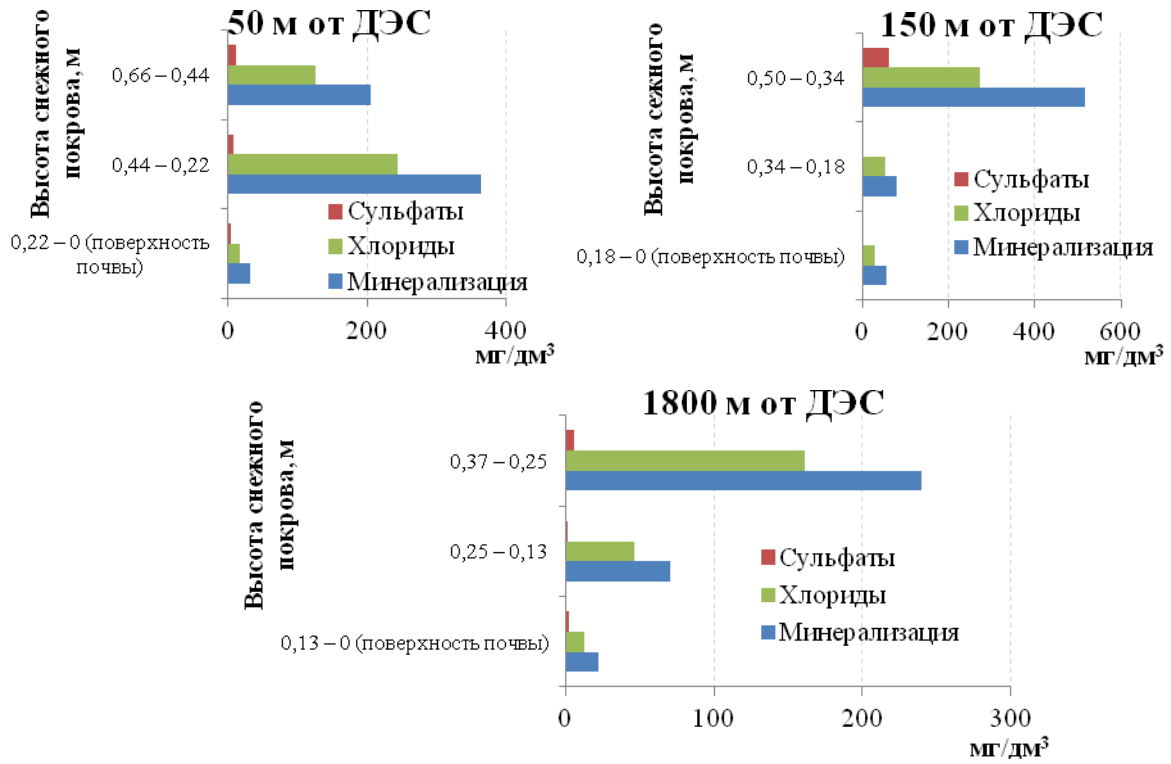


Рис. 1. Минерализация и содержание хлоридов и сульфатов в снежном покрове в вертикальном срезе в зависимости от удаленности загрязняющего объекта, Мыс Баранова, о. Большевик, апрель 2015 г.

В 2017-2019 гг. послойный отбор снежного покрова был продолжен. Для выяснения динамики миграции компонентов по времени специалистами ГГО был предложен отбор проб снежного покрова в одних и тех же точках отбора дважды в год – в марте и июне.

В пробах снежного покрова, отобранных в марте 2018 г. в фоновой точке и в районе ДЭС, концентрации загрязняющих веществ в несколько раз выше, чем в пробах, отобранных в июне этого же года (рис.2).

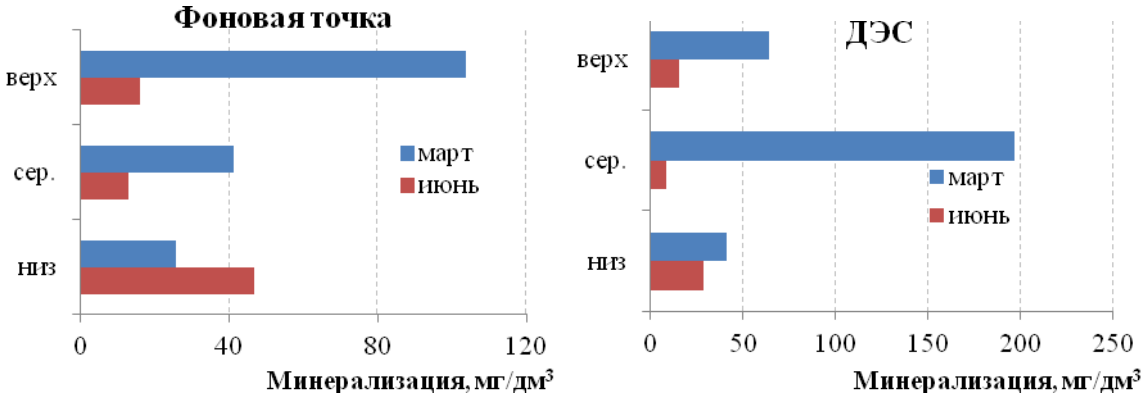


Рис. 2. Изменение минерализации в пробах снежного покрова, отобранных по слоям в марте и июне 2018 г. Мыс Баранова, о. Большевик

В зависимости от скорости миграции компонентов (растворимости) их содержание снизилось. Так в среднем на 25 – 30 % уменьшилось содержание сульфатов и кальция и на 40 – 50 % снизилось содержание остальных компонентов в верхнем слое относительно нижнего. Распределение содержания компонентов в снежном покрове по слоям, по-видимому, зависит от времени отбора, от состояния снежного покрова, от его глубины, погодных условий, локальных влияний. При повышении температуры воздуха происходит образование жидкоподобных пленок, что в отсутствие конвективных потоков влаги способствует миграции химических веществ в снежном покрове из верхних слоев в нижние благодаря диффузии растворимых веществ [2,3].

Следует также отметить, что в марте 2018 г. в пробах, взятых вблизи ДЭС, проявилось послойное чередование чистого и загрязненного снега. Такое чередование возможно связано с переносом ветром частиц ранее выпавшего снега на высоте нескольких десятков сантиметров над снежным покровом, что способствует обновлению верхнего слоя.

В целом результаты исследования показали, что в химическом составе как снежного покрова, так и атмосферных осадков в основном преобладали хлориды и натрий до 70 и более % от общего состава (рис.3). Содержание сульфатов в атмосферных осадках не превышало 8 %, а в снежном покрове зависело от места отбора проб. На долю остальных компонентов в сумме приходилось не более 10 % от общего состава. Следует отметить, что концентрация хлоридов имеет положительную корреляцию ($r = 0{,}996$ при $n = 40$) с содержанием натрия, что свидетельствует о влиянии морских аэрозолей на формирование химического состава как снежного покрова, так и атмосферных осадков на мысе «Баранова» и в целом на острове Большевик.

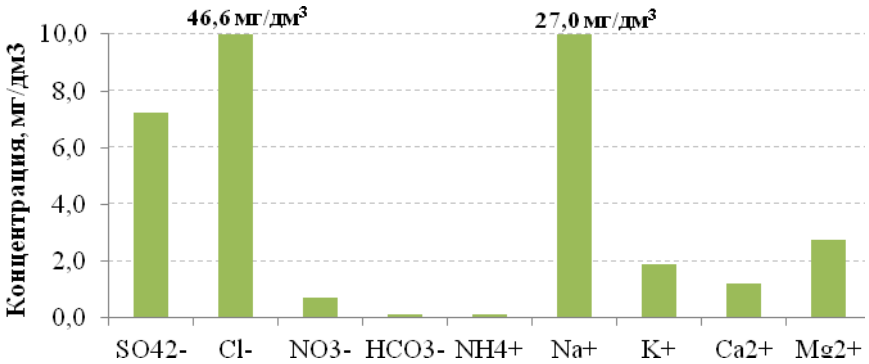


Рис.3. Средневзвешенный химический состав атмосферных осадков, отобранных на мысе Баранова, о. Большевик в 2018 г.

Несмотря на ограниченность информации для территориальных оценок закисления на мысе Баранова, анализ данных по распределению повторяемости значений pH снеговых проб показал, что около 77 % от всех измерений величина pH ниже 5,4. Свыше 80 % величина pH атмосферных осадков была ниже равновесного значения 5,65 и в среднем за весь период наблюдений составила 5,2.

Поступление химических элементов из атмосферы в виде осадков на подстилающую поверхность является важным звеном в геохимическом балансе экосистем. Основной вклад в массу влажных выпадений вносили хлориды и натрий – около 80 %, далее – сульфаты 7 – 8 %, магний, калий и кальций по 2 – 3 %.

Формирование озерной воды в Арктическом регионе в целом определяется атмосферным питанием, поэтому для оценки влияния прилегающих территорий на природные объекты Арктики были отобраны пробы воды из самого крупного в районе НИС озера Твердое. Полученные данные показали, что в ионном балансе озерной воды свыше 50 % также принадлежит хлориду и натрию, а величина pH в среднем составила 6,4 (рис.4).

Дополнительно для оценки возможного закисления озерной воды был использован показатель кислотонейтрализующей способности (ANC), который является общепринятым критерием для вод [4]. Показатель кислотонейтрализующей способности вод был рассчитан по формуле (1)

$$ANC_1 = Ca^{2+}+Mg^{2+}+Na^{+}+K^{+}-SO_4^{2-}-NO_3^{-} \quad (1)$$

Поскольку в озерах Арктики преобладает атмосферное питание, хлориды в основном имеют морское происхождение, а кальций, магний и сульфаты привносятся в пропорциях, соответствующих таковой в морских водах, был сделан соответствующий пересчет по формулам (2,3):

$$Ca^{2+}* = Ca^{2+} – 0{,}037[Cl^-]; \; Mg^{2+}* = Mg^{2+}* - 0{,}198[Cl^-]; \; Na^{+}* = Na^{+} – 0{,}858[Cl] \quad (2)$$

$$K^{+}* = K^{+} - 0{,}018[Cl-]; \; SO_4^{2-}* = SO_4^{2-} - 0{,}103[Cl^-]. \quad (3)$$

Разница между суммой катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} и K^{+} с коррекцией на морскую соль) и радикалами сильных кислот (SO_4^{2-} и NO_3^{-}) отражает запас или дефицит гидрокарбонатов, т.е. буферную способность системы. Полученные результаты показали положительный баланс ANC.

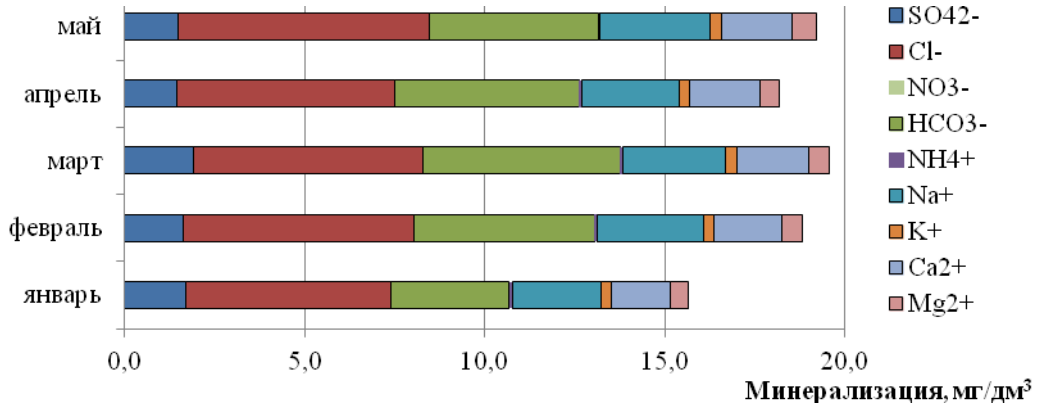


Рис.4. Химический состав воды озера Твердое, отобранной на глубине 2 м в январе-мае 2019 г.

Следует отметить, что для озерных вод, формирование которых в целом определяется атмосферным питанием, гидрокарбонаты являются основным анионом. Показатель соотношения молярной концентрации анионов HCO_3^{-}/SO_4^{2-} был выше 1, что указывает о запасе

в озерной воде гидрокарбонатов, обеспечивающих буферную ёмкость. Это позволяет характеризовать ситуацию в среднем как благоприятную. Закисления озера пока не происходит, поскольку кислотная нагрузка не превысила способность водосборной системы ее нейтрализовать. Процесс закисления не будет развиваться, пока накопление кислотообразующих агентов не превысит критический уровень.

Литература

1. Селезнева Е. С. О постановке исследований фоновых характеристик загрязнения атмосферы // ─ Метеорология и гидрология. ─ 1978 ─ № 1. – С. 40-48.

2. Дж. М. Бокрис. 1982. Химия окружающей среды. – Пер. с англ. под ред. А. П. Цыганкова. – Химия, 672 с.

3. Федосеева В.И. 2000. Физико-химические закономерности миграции химических элементов в мерзлых грунтах и снеге: автореферат дис. ... доктора химических наук : Том. гос. ун-т. - Томск, 45 с.

4. Моисеенко, Т.И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. ─ Москва: Наука. ─ 2003. — 276 с.

ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО – ГЕОСТРАТЕГИЧЕСКИЙ ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А.
Институт озероведения Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

LAKE LADOGA - A GEOSTRATEGIC WATER BODY DEFINING THE LIFE IN THE NORTHWESTERN TERRITORIES OF RUSSIA

Pozdnyakov Sh.R,. Kondratyev S.A
Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Показано, что Ладожское озеро – геостратегический водный объект, определяющий жизнедеятельность северо-западных территорий России, которая напрямую зависят от экологического состояния озера. Поэтому важность сохранения водных ресурсов Ладожского и Онежского озер отмечена и в Стратегии экологической безопасности РФ (документ утвержден Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176), созданной по итогам заседания Совета Безопасности РФ от 20 ноября 2013 г. Тем не менее, научно обоснованная и официально утвержденная на государственном уровне стратегия рационального использования водных ресурсов этой крупнейшей пресноводной системы в настоящее время отсутствует.

It is shown that Lake Ladoga is a geostrategic water body that determines the vital activity of the northwestern territories of Russia, which directly depends on the ecological state of the lake. Therefore, the importance of preserving the water resources of Ladoga and Onega lakes is also noted in the Environmental Security Strategy of the Russian Federation (the document was approved by the Decree of the President of the Russian Federation dated April 19, 2017 No. 176), created following the meeting of the Russian Security Council dated November 20, 2013. However, at present, there is no scientifically grounded and officially approved strategy for the rational use of water resources of this largest freshwater system at the state level.

Ладожское озеро площадью 17680 км^2 с объемом водной массы 848 км^3 и суммарной площадью водосбора более 283 000 км^2 является крупнейшим озером Европы [1]. Озеро играет ключевую роль в экономике Европейской части РФ в целом не только как крупнейший источник водных ресурсов, но и как важное звено водной транспортной магистрали, связывающей северо-западный с центральными и южными регионами России и обеспечивающей выход на зарубежные рынки через Финский залив и Балтийское море. Водосбор Ладожского озера характеризуется высоким уровнем хозяйственного освоения. Концентрация производственной деятельности здесь гораздо выше общероссийских показателей. Крупные животноводческие фермы, птицефабрики и сельскохозяйственные угодья являются источником высокой антропогенной диффузной нагрузки на озеро.

Особую актуальность в последние годы приобретает проблема поиска альтернативного источника водоснабжения Санкт-Петербурга, так как в настоящее время водозабор для нужд города осуществляется из реки Невы, качество воды в которой оставляет желать лучшего. Сложность решения задачи заключается в том, что морфометрическая неоднородность Ладожского озера, определяющая неоднородность гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик, приводит к различной степени загрязнения отдельных озерных районов в результате антропогенного воздействия на него. Организация выбора местоположения возможных

водозаборов на акватории Ладоги заключается, прежде всего, в определении района озера, обладающего значительным объемом чистой воды и подверженного минимальным воздействиям загрязненных или потенциально загрязненных вод, поступающих с водосбора или от других источников. Объем воды в указанном районе должен обеспечивать бесперебойное водоснабжение населенного пункта или промышленного предприятия водой со стабильными гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками в течение длительного промежутка времени. Организация водозабора на акватории Ладожского озера должна выполняться не только на основе существующих в настоящее время показателей качества воды, но и учитывать перспективы изменения антропогенной нагрузки на него и возможности потенциального попадания загрязняющих веществ в точку расположения водозабора. Перенос примесей и формирование качества воды в крупном водоеме в значительной мере определяется характером динамических явлений, возникающих под действием гидрологических и метеорологических факторов, и в первую очередь течений и турбулентности. Наиболее значимыми динамическими явлениями в озере являются циклоническая циркуляция в период существования вертикальной термической фронтальной зоны (термобара), горизонтальный термический фронт (термоклин), апвеллинги, ветровые и инерционные течения. Внутриводоемные процессы, не связанные с внешней нагрузкой, в гораздо меньшей степени (по сравнению с внешними факторами) воздействуют на качество воды Ладожского озера, особенно в центральной его части. На основе выполненных в Институте озероведения исследований установлено, что те объемы воды, которые потенциально могут быть использованы для водозаборов Санкт-Петербурга и других крупных населенных пунктов Приладожья, находятся в западной и юго-западной частях акватории Ладожского озера с глубинами более 20 и 50 м. Запас воды в Ладожском озере ниже плоскостей, ограниченных изобатами 20 и 50 м, рассчитанный в лаборатории гидрологии ИНОЗ РАН на основе цифровой модели ложа озера, оценивается в 555 и 264 км^3, соответственно [1, 2].

По рыбным запасам Ладожское озеро относится к ведущим внутренним водоемам страны. На протяжении второй половины XX и первого десятилетия XXI столетия (1946–2009 гг.) уловы рыбы в нем колебались в пределах от 1.592 тыс. т (1946 г.) до 6.889 тыс т (1981 г.), т.е. в 4,3 раза. В расчете на гектар акватории они составляли от 0.9 до 3.8 кг га$^{-1}$. Среднегодовой вылов за этот период составил 3.883 тыс. т. Промысел в озере осуществляют рыбодобывающие организации Ленинградской области и Карелии. При этом на долю первых, работающих в южной части водоема, приходится 85–90% общего вылова. Динамика уловов характеризовалась подъемами и спадами в объемах. Эти колебания относятся к двум основным типам: короткопериодному и долгопериодному. Короткопериодный тип выражается в изменениях уловов в смежные годы. Он обусловливается появлениями различных по степени урожайности поколений рыб в связи с текущими гидрометеорологическими условиями (температура воды и уровенный режим во время нереста и др.) или изменениями в промысловой обстановке (позднее вскрытие водоема ото льда, неблагоприятный ход ледостава, сложные условия промысла из-за штормовой и иной обстановки и т. п.). Короткопериодные изменения уловов в соседние годы обычно невелики и быстро сменяются по объему вылова [1, 3]. В послевоенный период (1946–1954 гг.) отмечался ощутимый рост уловов, выраженный кратковременным «всплеском». Они увеличились от 1.592 тыс. т (1946 г.) до 4.061 тыс. т и до 4.849 тыс. т (в 1950–1952 гг. и 1954 г.). Характерной чертой этого периода было по существу полное игнорирование требований, диктуемых рациональным режимом рыболовства. На промысле широко использовались мелкоячейные тралы. Массовый характер принял лов неполовозрелых рыб (особенно сигов и судака) и интенсивный облов нерестовых

концентраций. Из-за нерациональных подходов к ведению промысла, продолжительность «всплеска» оказалась краткой. В результате уже в 1959 г., несмотря на возросшую производственную базу, уловы опустились до уровня 1.839 тыс. т. Промысел приблизился к черте, за которой мог наступить перелов. Возникшая депрессия в объемах вылова длилась практически 10 лет (с 1955 г. по 1963 г.) и тяжело отразилась на общем состоянии ладожского рыболовства. Лишь благодаря относительно быстрому принятию жестких мер по регулированию промысла полное разрушение ихтиоценоза озера было приостановлено, прекратилось сокращение запасов рыб и создались условия для их восстановления.

На озере с 1959 г. был введен новый рациональный режим рыболовства, который предусматривал полный запрет на использование мелкоячейных тралов, установление щадящей промысловой меры для ценных промысловых рыб с длительным жизненным циклом, введение запретных сроков на лов в период размножения весенненерестующих (судак) и осенненерестующих (озерные сиги) видов. Для таких ценных рыб, как озерные сиги и судак, были введены лимиты вылова, устанавливаемые ежегодно на основании оценок численности популяций этих видов, выполняемых научными организациями. В результате принятых мер уже в середине 60-х гг. прошлого столетия стали отмечаться признаки восстановления численности промысловых рыб и общий рост их уловов [3]. В начале 90-х гг. прошлого столетия высокий уровень продуктивности начал сменяться понижающейся ветвью долгопериодного цикла. В эти годы продукционный потенциал озера понизился, наступил третий период послевоенной динамики уловов в Ладожском озере (1991–2009 гг.), характеризующийся их уменьшением и сближением с показателями, наблюдавшимися в первом периоде. Минимальные уловы по официальным данным отмечались в конце 90-х гг. прошлого столетия. В первые годы XXI столетия они несколько повысились, но это незначительное повышение не меняет общей оценки периода последних двух десятилетий как понижающейся ветви единого для озера долгопериодного цикла. В настоящее время фиксируется катастрофическое снижение выловов рыбы на Ладоге. Учитывая сложившееся положение с различными группами рыбного населения целесообразно разработать и приступить к практической реализации комплекса охранных и рыбоводных мероприятий, направленных на сохранение и восстановление промысловой значимости наиболее ценных ладожских рыб и стимулирование вылова слабо эксплуатируемых видов.

Водные пространства Ладожского озера издревле используются для судоходства. Во времена Киевской Руси и до начала XVIII века здесь пролегал знаменитый торговый путь «из варяг в греки». В настоящее время Ладожское озеро является важнейшим звеном в транзитном водном пути из внутренних районов страны в Балтийское море. Главная транспортная артерия внутреннего водного транспорта, проходящая в южной части озера от устья Свири до истока Невы, является составной частью Волго-Балтийского водного пути. Ее протяженность в водах Ладоги превышает 70 миль. Каждую навигацию по ней перевозятся разнообразные грузы как в транзитном, так и в местном сообщениях. Волго-Балтийский водный путь обеспечивает транспортную связь Балтийского и Белого морей с Волжско-Камским воднотранспортным бассейном. Глубина его судоходных фарватеров составляет не менее 4 м, что обеспечивает проход судов грузоподъемностью до 5 тыс. т. Крупнейшая глубоководная магистраль страны (859 км), начинаясь в устье Невы, проходит по этой короткой, но очень полноводной реке, нередко неспокойному Ладожскому озеру, реке Свирь, Онежскому озеру, Волго-Балтийскому судоходному каналу и соединяется с Рыбинским водохранилищем Волги. Продолжением Волго-Балтийского водного пути является Беломорско-Балтийский канал, соединяющий Онежское озеро с Белым морем

[1, 4] комплекс инженерных объектов, включающий 4.9 тыс. км эксплуатируемых водных путей (в том числе 3.27 тыс. км с гарантированными габаритами), 11 шлюзов с напором от 11 до 18 м, три гидроэлектростанции, 25 земляных плотин и дамб, 12 паромных переправ, 9 мостовых переходов, 8 маяков в Ладожском озере, более 5 тыс. знаков судоходной обстановки. Его пропускная способность достигает 20 млн т различных грузов.

Создание Волго-Балтийского водного пути сделало возможным сквозную перевозку грузов на судах «река-море» из портов Балтийского в порты Каспийского, Азовского и Черного морей, а также доставку импортных грузов в российские внутренние речные порты из морских портов ряда стран Западной Европы и Средиземноморья. Объемы среднегодовых перевозок достигают 15–20 млн т, из них, как правило, на строительные материалы приходится 24–36 %, на нефтепродукты — 28–31 %, металлы — 9–12 %, лесные грузы — 7–14 %, минеральные удобрения и химические грузы 3–6 %. За навигацию по Волго-Балтийскому водному пути проходит свыше 19–20 тыс. судов, в том числе 2.7–3 тыс. пассажирских (большая часть круизных), на которых ежегодно перевозится около 300 тыс. человек. Услугами Волго-Балта пользуется не менее 150 судоходных компаний. Основная часть грузов (11-14 млн т) следует в порты Балтийского моря через южную часть Ладожского озера. Всего за навигацию по этой оживленной трассе проходит более 8 тыс. судов, из них 6.5 тыс. грузовые (в том числе свыше 26% — танкеры и наливные баржи). На более чем 80 теплоходах здесь перевозится около 160 тыс. пассажиров, следующих в основном по маршруту Санкт-Петербург — Москва.

Ладожское озеро является уникальным природным комплексом, обладающим богатейшим туристско-рекреационным потенциалом. Формирование и развитие рекреационного природопользования и водопользования происходило и происходит здесь под влиянием социально-экономических, культурно-исторических, природоведческих, медико-биологических и других факторов, которые в свою очередь менялись во времени и пространстве. На протяжении веков Ладога была центром притяжения жителей нынешнего северо-запада России и ряда европейских государств. На берегах Ладожского озера строились крепости, монастыри, поселения. Постепенно Приладожье осваивалось в хозяйственном отношении, что влияло на динамику расселения и изменение общей численности населения на побережье Ладожского озера. В настоящее время на его берегах, островах и акватории увеличилось разнообразие рекреационных занятий. К традиционной охоте и рыбной ловле, сбору ягод и грибов, отдыху на базах и в оздоровительных лагерях добавились многие виды рекреационного водопользования (разные виды туризма, круизы, дайвинг, виндсерфинг и др.). Совокупность природных, культурно-исторических и социально-экономических предпосылок для организации рекреационной деятельности на побережье и акватории Ладожского озера свидетельствует о потенциальных возможностях развития туризма, отдыха и других видов природопользования, и прежде всего, водопользования [5]. Это обусловливается уникальным географическим положением Ладожского озера и его водосборного бассейна, значительным природно-климатическим потенциалом для развития туризма, санаторного лечения и отдыха, наличием достопримечательностей, богатым историко-культурным наследием, наметившейся тенденцией роста коллективных средств размещения туристов, сравнительно развитой транспортной инфраструктурой, возможностью использования сложившейся структуры экономики в интересах становления и развития туризма и рекреации вокруг Ладоги.

Ладожское озеро и прилегающие к нему районы обладают богатым культурно-историческим наследием, привлекательным не только для российских туристов, но и для туристов из Финляндии, Швеции, Норвегии и других зарубежных стран [1, 5]. На

островах и территориях приозерных районов находится огромное число памятников истории и культуры федерального, регионального и местного значения. Они как ожерелье опоясывают Ладожское озеро сплошным кольцом. К ним относятся крепости и фортификационные сооружения, многочисленные религиозные объекты, архитектурные строения, музеи, дворцы, усадьбы и т. д. Международную известность приобрели такие памятники истории и культуры, как крепости Корела, Орешек (Шлиссельбург), Старая Ладога, Валаамский и Рождество-Богородичный Коневский монастыри, «Дорога жизни» и др. Сохранившаяся и воссозданная культурно-историческая составляющая рекреационного потенциала муниципальных районов Карелии и Ленинградской области на побережье и акватории Ладожского озера дополняет и обогащает природную составляющую, сочетая в совокупности материальную и духовную основу развития всех видов и форм туризма и рекреации.

Все перечисленные выше факторы, определяющие Ладожское озеро как геостратегический водный объект России, напрямую зависят от его экологического состояния. Поэтому важность сохранения водных ресурсов Ладожского и Онежского озер отмечена и в Стратегии экологической безопасности РФ (документ утвержден Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176), созданной по итогам заседания Совета Безопасности РФ от 20 ноября 2013 г. Тем не менее, научно обоснованная и официально утвержденная на государственном уровне стратегия рационального использования водных ресурсов этой крупнейшей пресноводной системы в настоящее время отсутствует. В 2017 году проект федерального закона «Об охране Ладожского и Онежского озер» внесло в Госдуму Законодательное собрание Республики Карелия. «Учитывая, что Ладожское и Онежское озера являются уникальными природными объектами и самыми большими пресноводными озерами в Европе, по данным водным объектам наряду с озером Байкал требуется отдельное правовое регулирование», - говорилось в пояснительной записке. Документ должен был носить «рамочный» характер. Предполагалось внести изменения в нормативные правовые акты РФ, в части уточнения и расширения переданных органам государственной власти субъектов Российской Федерации, на территории которых расположен природный комплекс Ладожского и Онежского озер, отдельных государственных полномочий. Законопроект предусматривал, что субъекты РФ, на территории которых расположен природный комплекс Ладожского и Онежского озер, будут вправе принимать подзаконные правовые акты по вопросам переданных государственных полномочий, а также издавать обязательные для исполнения методические указания и инструктивные материалы по осуществлению переданных государственных полномочий. Тем не менее, Государственная Дума отклонила в первом чтении проект закона об охране Ладожского и Онежского озер по причине недостаточной проработки. Основной причиной отклонения закона по-видимому явилось ущемление интересов крупных промышленных и сельскохозяйственных компаний, осуществляющих сброс сточных вод в водные объекты бассейна Ладожского озера.

Литература

1. Ладога / Под ред. В.А.Румянцева и С.А. Кондратьева. СПб: Нестор-История. 2013. 467 с.
2. Науменко М.А. Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера. Доклады Академии наук,1995, том.345, №4, с.514-517.
3. Кудерский Л.А. Состав и промысловое значение рыбного населения Ладожского озера // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 2009. Вып. 334. С. 138-212.
4. Алхименко А.П. Транспортно-экологические проблемы водной системы «Ладожское озеро — река Нева — Финский залив» // Региональная экология. СПб.: ИПРЭ РАН, 2005. № 1–2 (24). С. 109–119.

5. Алхименко А.П. Состояние и перспективы становления и развития рекреационной и туристской деятельности на побережье и акватории Ладожского озера // Проблемы биологии, экологии, географии, образования: история и современность. Материалы второй международной научно-практической конференции. СПб.: ЛГУ имени А.С. Пушкина, 2008. С. 312–331.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ТРЕХМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕЛКОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ

Проценко С.В.
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия

SPATIAL THREE-DIMENSIONAL WAVE PROCESSES MATHEMATICAL MODELING IN SHALLOW WATER BODIES

Protsenko S.V.
Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

Статья посвящена описанию моделирования трехмерных экстремальных волновых процессов в мелководных водоемах. В основу работы положена трехмерная математическая модель гидродинамики мелководных водоемов. Предложенные дискретные модели остаются устойчивыми при перепадах глубин в десятки раз, что является важным фактором для прибрежных систем. Программное обеспечение было разработано для прогнозирования появления волн с экстремальными характеристиками.
Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 19-31-90091.

The article is devoted to the description of the modeling of three-dimensional extreme wave processes in shallow water bodies. The work is based on a three-dimensional mathematical model of the hydrodynamics of shallow water bodies. The proposed discrete models remain stable at depth differences of tens of times, which is an important factor for coastal systems. The software was developed to predict the occurrence of extreme waves.
This paper was supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) grant No. 19-31-90091

Введение

Для мелководных морских систем, таких как Азовское и Белое море, Северный Каспий и др. нередким явлением становится возникновение волн с экстремальными характеристиками, а именно с экстремальной крутизной переднего фронта. При уменьшении глубины с 30-40 метров до 5-10 метров такая трансформация волн приводит к увеличению тяжести последствий штормового волнения при распространении волн в сторону сужения водного потока и уменьшения глубины. В декабре 2006 года более 10 крупных судов потерпело крушение в Керченском проливе, тогда как высота волн достигала 8 метров, при этом высота волн на входе в пролив со стороны Черного моря не превышала 5 метров. Для описания волновых процессов в мелководных водоемах использована система уравнений Навье-Стокса, включающая три уравнения движения в областях с динамически изменяемой геометрией расчетной области. Дискретные модели сохраняют устойчивость, в отличие от известных моделей, при перепадах глубин в 40-50 раз, что является важным фактором для прибрежных систем. Разработано программное обеспечение, которое дает возможность прогнозировать появление волн с экстремальными характеристиками в особо важных районах Азовского моря, включая Керченский пролив, где возможно увеличение амплитуды волновых колебаний за счет большого перепада глубин и концентрации энергии волн.

Пространственно-неоднородная трехмерная математическая модель волновой гидродинамики мелководного водоема

Пространственно-неоднородная трехмерная математическая модель волновой гидродинамики мелководного водоема включает:

– уравнения движения (Навье – Стокса):

$$u'_t + uu'_x + vu'_y + wu'_z = -\frac{1}{\rho} p'_x + \left(\mu u'_x\right)'_x + \left(\mu u'_y\right)'_y + \left(\nu u'_z\right)'_z,$$

$$v'_t + uv'_x + vv'_y + wv'_z = -\frac{1}{\rho} p'_y + \left(\mu v'_x\right)'_x + \left(\mu v'_y\right)'_y + \left(\nu v'_z\right)'_z, \qquad \text{(i)}$$

$$w'_t + uw'_x + vw'_y + ww'_z = -\frac{1}{\rho} p'_z + \left(\mu w'_x\right)'_x + \left(\mu w'_y\right)'_y + \left(\nu w'_z\right)'_z + g;$$

– уравнение неразрывности: $\rho'_t + \left(\rho u\right)'_x + \left(\rho v\right)'_y + \left(\rho w\right)'_z = 0,$ (2)

где $\mathbf{V} = \{u, v, w\}$ – вектор скорости водного потока мелководного водоема; ρ – плотность водной среды; p – гидродинамическое давление; g – ускорение свободного падения; μ, ν – коэффициенты турбулентного обмена в горизонтальном и вертикальном направлениях; $\mathbf{n}$ – вектор нормали к поверхности, описывающей границу расчетной области. На рис. 1 представлена геометрия водного тела.

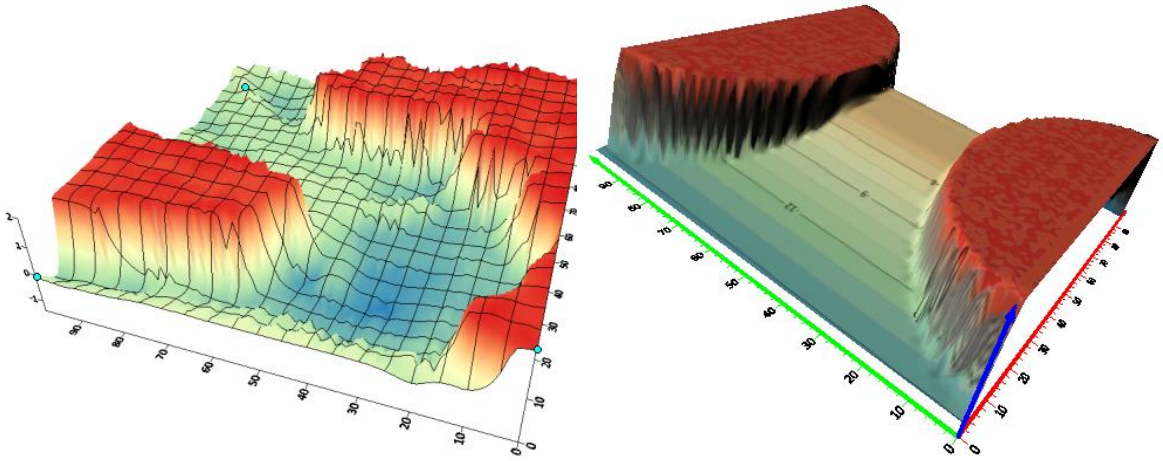


Рис. 1. Исходная и упрощенная геометрия расчетной области

Дискретная математическая модель задачи гидродинамики

Расчетная область вписана в параллелепипед. Для численной реализации дискретной математической модели поставленной задачи гидродинамики вводится равномерная сетка:

$$\overline{w}_h = \left\{ t^n = n\tau, x_i = ih_x, y_j = jh_y, z_k = kh_z;\ n = \overline{0..N_t}, i = \overline{0..N_x}, j = \overline{0..N_y}, k = \overline{0..N_z};\right.$$

$$\left. N_t\tau = T, N_x h_x = l_x, N_y h_y = l_y, N_z h_z = l_z \right\},$$

где τ – шаг по времени, h_x, h_y h_z – шаги по пространству, N_t – количество временных слоев, T – верхняя граница по временной координате, N_x, N_y N_z – количество узлов по пространственным координатам, l_x, l_y l_z – длины ребер параллелепипеда в направлении осей *Ox*, *Oy* и *Oz* соответственно.

Для решения задачи гидродинамики использовался метод поправки к давлению. Вариант данного метода в случае переменной плотности примет вид [2]:

$$\frac{\tilde{u} - u}{\tau} + u\overline{u}'_x + v\overline{u}'_y + w\overline{u}'_z = \left(\mu\overline{u}'_x\right)'_x + \left(\mu\overline{u}'_y\right)'_y + \left(\nu\overline{u}'_z\right)'_z, \frac{\tilde{v} - v}{\tau} + u\overline{v}'_x + v\overline{v}'_y + w\overline{v}'_z = \left(\mu\overline{v}'_x\right)'_x + \left(\mu\overline{v}'_y\right)'_y + \left(\nu\overline{v}'_z\right)'_z,$$

$$\frac{\tilde{w}-w}{\tau}+u\overline{w}'_x+v\overline{w}'_y+w\overline{w}'_z=\left(\mu\overline{w}'_x\right)'_x+\left(\mu\overline{w}'_y\right)'_y+\left(\nu\overline{w}'_z\right)'_z+g, \qquad (4)$$

$$p''_{xx}+p''_{yy}+p''_{zz}=\frac{\hat{\rho}-\rho}{\tau^2}+\frac{\left(\hat{\rho}\tilde{u}\right)'_x}{\tau}+\frac{\left(\hat{\rho}\tilde{v}\right)'_y}{\tau}+\frac{\left(\hat{\rho}\tilde{w}\right)'_z}{\tau},\ \frac{\hat{u}-\tilde{u}}{\tau}=-\frac{1}{\rho}\hat{p}'_x,\ \frac{\hat{v}-\tilde{v}}{\tau}=-\frac{1}{\rho}\hat{p}'_y,\ \frac{\hat{w}-\tilde{w}}{\tau}=-\frac{1}{\rho}\hat{p}'_z,$$

где $V=\{u,v,w\}$ – компоненты вектора скорости, $\{\hat{u},\hat{v},\hat{w}\},\{\tilde{u},\tilde{v},\tilde{w}\}$ – компоненты полей вектора скорости на «новом» и промежуточном временных слоях соответственно, $\overline{u}=\left(\tilde{u}+u\right)/2$, $\hat{\rho}$ и ρ – распределение плотности водной среды на новом и предыдущем временных слоях соответственно.

Вводятся коэффициенты q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, описывающие заполненность областей, находящихся в окрестности ячейки (контрольных областей). Значение q_0 характеризует заполненность области [3].

В случае граничных условий третьего рода $c'_n(x,y,z,t)=\alpha_n c+\beta_n$ дискретные аналоги операторов конвективного uc'_x и диффузионного $\left(\mu c'_x\right)'_x$ переноса, полученные при помощи интегро-интерполяционного метода, учитывающие частичную заполненность ячеек, могут быть записаны в следующем виде:

$$\left(q_0\right)_i uc'_x \approx \left(q_1\right)_i u_{i+1/2}\frac{c_{i+1}-c_i}{2h_x}+\left(q_2\right)_i u_{i-1/2}\frac{c_i-c_{i-1}}{2h_x},$$

$$\left(q_0\right)_i\left(\mu c'_x\right)'_x \approx \left(q_1\right)_i \mu_{i+1/2}\frac{c_{i+1}-c_i}{h_x^2}-\left(q_2\right)_i \mu_{i-1/2}\frac{c_i-c_{i-1}}{h_x^2}-\left|\left(q_1\right)_i-\left(q_2\right)_i\right|\mu_i\frac{\alpha_x c_i+\beta_x}{h_x}.$$

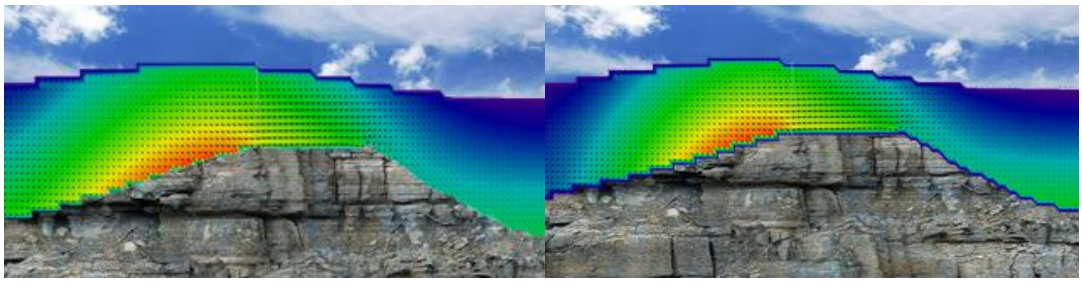
Аналогичным образом запишутся аппроксимации конвективных и диффузионных членов по оставшимся координатным направлениям.

Численный эксперимент

В местах с геометрией типа «бутылочное горлышко» нередким явлением становится возникновение волн с экстремальными характеристиками, а именно с экстремальной крутизной переднего фронта. При уменьшении глубины такая трансформация волн приводит к увеличению тяжести последствий штормового волнения при распространении волн в сторону сужения водного потока и уменьшения глубины.

Для моделирования входа волн предлагается геометрия дна типа «узкое место» с глубинами, приближенными к геометрии дна Керченского пролива. Источник возмущений устанавливается на заданном расстоянии от береговой линии. Площадь моделирования имеет размеры 50 на 50 км и глубину 18 м.

Создан современный программный комплекс, адаптированный для моделирования гидродинамических волновых процессов, используемый в широком диапазоне параметров для расчета полей скоростей и давления водной среды, а также для оценки гидродинамического воздействия на берег при наличии поверхностных волн.



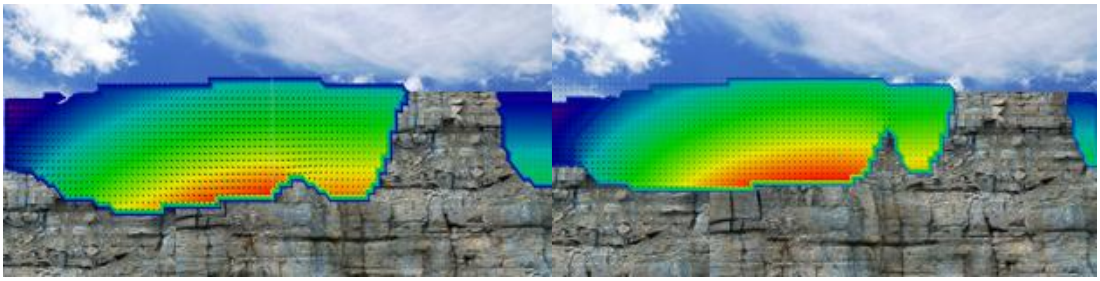


Рис. 2. Векторное поле скорости движения водной среды)

На рис. 2 показаны результаты прогноза волновых гидродинамических процессов при входа волн в пролив из с учетом упрощенной и реальной геометрии дна, рисунок демонстрирует векторное поле скорости движения водной среды (вырез из плоскости XOZ) в один и тот же момент времени.

Разработанный программный комплекс позволяет производить эксперименты как на упрощенной геометрии (типа «бутылочное горлышко») так и на реальной геометрии пролива. Визуализация результатов показывает, что на упрощенной геометрии действительно возникают возникновение волны с экстремальными характеристиками, и результаты полученные на упрощенной геометрии согласуются с результатами на реальной геометрии дна. Разработанные численные алгоритмы решения модельных задач и реализации комплекса программ могут быть использованы для исследования гидрофизических процессов в прибрежных водных системах, а также для нахождения поля скорости и давления водной среды, для оценки возможного негативного воздействия на береговую линию при наличии поверхностных волн на основе измерения параметров волновых процессов на основе натурных наблюдений.

Разработанное программное обеспечение использовалось для численной реализации предложенной 3D модели волновой гидродинамики и построения прогноза движения водной среды при входе волн в «бутылочное горлышко».

Литература

1. Sukhinov A. I., Protsenko S. V. Long Waves Simulation in Coastal Systems Using Parallel Computational Technologies // Young Scientist's Third International Workshop on Trends in Information Processing. –Vol. 2500. – 2019. – pp. 1-10. http://ceur-ws.org/Vol-2500/paper_1.pdf

2. С.В. Проценко, А.М. Атаян, А.Е. Чистяков, А.В. Никитина, В.Н. Литвинов, А.А. Филина Экспериментальное исследование силовых нагрузок на опоры надводной конструкции на основе математической модели волновых процессов // Вестник Южно-Уральского государственного университета «Вычислительная математика и информатика». – 2019. – Т. 8, № 3. – с. 27-42.

3. Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А., Сидорякина В.В., Проценко С.В. Метод учета заполненности ячеек для решения задач гидродинамики со сложной геометрией расчетной области // Математическое моделирование. 2019. – Т. 31. – № 8. – с. 79-100. DOI: https://doi.org/10.1134/S0234087919080057.

ДИНАМИКА ВОДНОГО СТОКА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКИ ТУЗЛОВ (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Сазонов А.Д.
ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону, лаборант-исследователь;
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, студент
Закруткин В.Е.
Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, профессор, д. г.-м. н.

WATER RUNOFF DYNAMICS AND ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE TUZLOV RIVER (ROSTOV REGION, RUSSIA)

Sazonov A.D.
FSBI "Hydrochemical Institute", Rostov-on-Don, laboratory assistant;
Southern Federal University, Rostov-on-Don, student
Zakrutkin V.E.
Southern Federal University, Rostov-on-Don, professor, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences

Рассматривается экологическое состояние и гидрологические особенности реки Тузлов (Ростовская область) за период 2008-2017 гг. Приводится динамика водного стока и качества воды, а также исследуются источники наиболее значительного антропогенного воздействия. Итогами работы являются описание общего эколого-гидрологического состояния реки и рекомендации, направленные на минимизацию негативного антропогенного воздействия.

The ecological state and hydrological features of the Tuzlov river (Rostov region) for the period 2007-2018 are considered. The dynamics of water runoff and water quality is given and the sources of the most significant anthropogenic impact are considered. The result of the work is a description of the general ecological and hydrological state of the river and recommendations aimed at minimizing the negative anthropogenic impact.

Река Тузлов протекает по территории Ростовской области и является правобережным притоком Нижнего Дона, впадая в него посредством протока Аксай (рис. 1). Река берет начало на склоне Донецкого кряжа. Длина реки составляет 182 км, площадь водосбора – около 4680 км^2. Тузлов практически по всей своей протяженности протекает по равнинной местности, чем обусловлена низкая скорость течения (менее 1 м/с), которая устойчиво уменьшается при приближении к устью. Ширина реки изменяется от 3 метров в верховье до 75-80 метров у города Новочеркасск. Основное питание реки формируется за счет снегового, подземного и дождевого питания. В летний период в верхнем течении река местами пересыхает. В бассейне Тузлова находится множество прудов - около 410 [5].

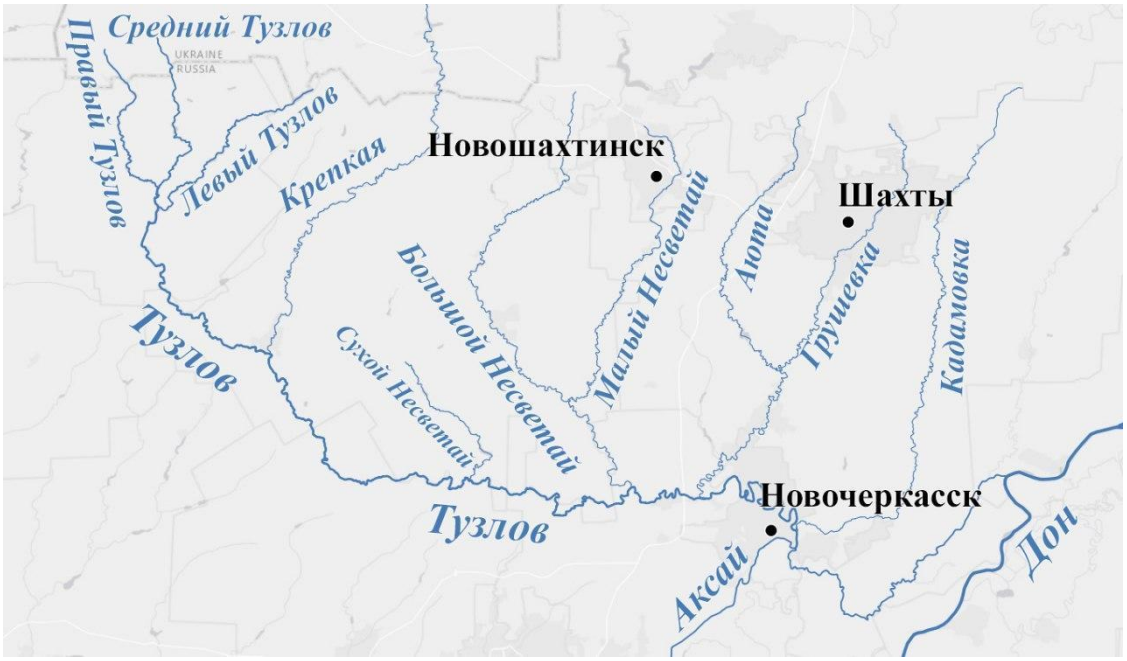


Рисунок 1 – Картосхема бассейна реки Тузлов (составлено авторами)

Источником гидрологической информации послужили открытые данные Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [1]. Для расчета объема стока использовались данные по среднесуточным расходам воды. Материалами для оценки экологического состояния реки Тузлов послужили доклады Ростовской области о состоянии окружающей среды («Экологические вестники Дона» [7]), ежегодники «Качество поверхностных вод Российской Федерации» [4], а также ранее опубликованные результаты исследований по данной теме.

Визуализация данных по водному стоку свидетельствует об уменьшении объема стока за рассматриваемый период (рис. 2). Наибольший объем водного стока отмечался в 2010 году, наименьший – в 2015. Среднегодовой водный сток за рассматриваемый период составил 0,287 км^3.

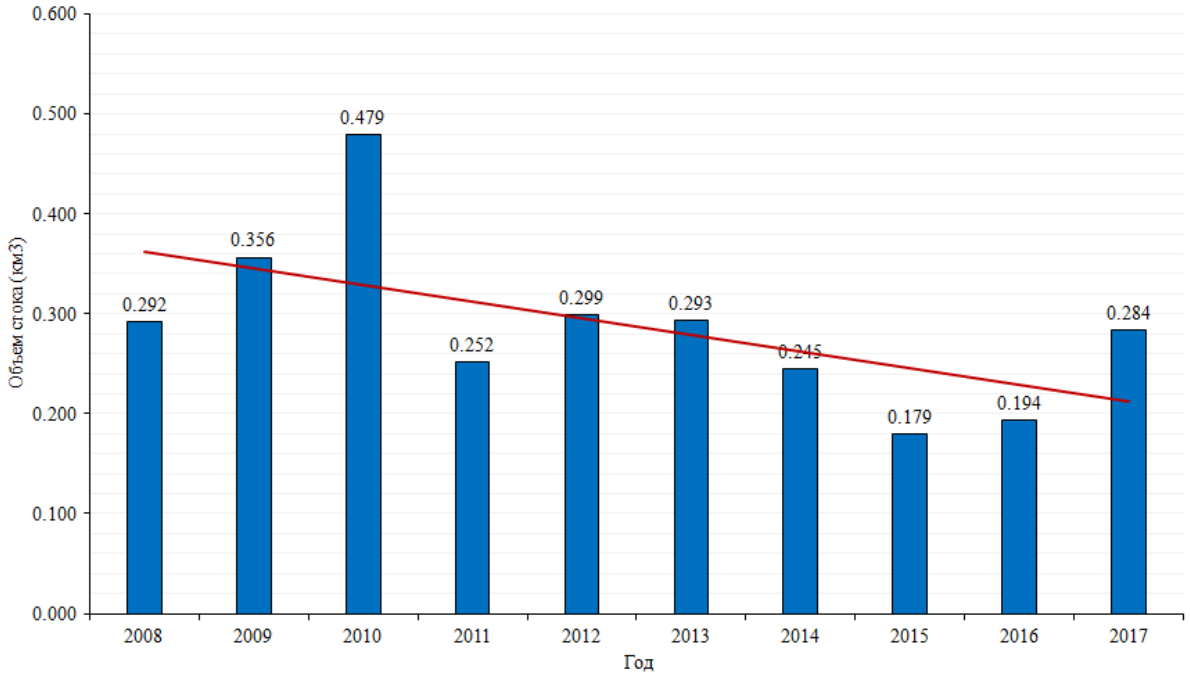


Рисунок 2 – Динамика водного стока реки Тузлов в 2008-2017 гг. в х. Несветай (составлено авторами)

С 2008 по 2017 гг. качество воды в реке Тузлов варьировало от «грязной» до «очень грязной» (УКИЗВ 4,06-8,0), что свидетельствует об устойчивости загрязнения и наличии постоянных источников поступления поллютантов [4, 7]. Наихудшее качество воды отмечается в малых реках бассейна реки Тузлов – Малый Несветай, Большой Несветай, Аюта, Грушевка, Кадамовка, Атюхта и другие, где качество воды оценивается как «экстремально грязная» [7]. Приоритетными загрязнителями за рассматриваемый период являлись следующие химические элементы и соединения: марганец, сульфаты, натрий, железо общее, медь и алюминий. Лабораторные анализы донных отложений, отобранных в притоках Тузлова, указывают на регулярное поступление загрязняющих веществ с шахтными водами и свидетельствуют о накоплении микро- и макрокомпонентов с концентрациями, значительно превышающими предельно допустимые [2, 3].

Также стоит отметить, что процессы миграционного потока главных солеобразующих компонентов из засоленных почвогрунтов водосбора вносят существенный вклад в солевое загрязнение речных вод в бассейне Тузлова [6]. На территории водосборного бассейна р. Тузлов ведется интенсивная сельскохозяйственная деятельность, которая способствует вымыванию тонких фракций из поверхностных почвенных горизонтов.

Крупные предприятия-загрязнители находятся в нижнем течении реки Тузлов и характеризуются большими объемами сброса загрязненных сточных вод. Например, ООО «Производственная компания «Новочеркасский электровозостроительный завод» ежегодно осуществляет сброс около 3 млн. $м^3$ загрязненных вод. Самым крупным предприятием-загрязнителем реки Тузлов является МПУ «Горводоканал» г. Новочеркасска: ежегодный объем сброса загрязненных сточных вод в среднем составляет около 8 млн. $м^3$ [7].

Исходя из динамики уменьшения водного стока и устойчивого загрязнения воды реки Тузлов можно сделать вывод, что экологическое состояние реки может ухудшиться.

Известно, что основными источниками питания данной реки являются снеговое и дождевое [5]. В случае уменьшения выпадения атмосферных осадков основным

источником питания Тузлова периодически могут являться подземные воды. Как ранее было отмечено, одним из основных источников загрязнения бассейна Тузлова являются высокоминерализованные загрязненные шахтные воды. Из этого следует, что климатические изменения, распространяемые на водосборную площадь реки Тузлов, могут привести к значительному ухудшению экологического состояния. Если сокращение водного стока будет происходить параллельно увеличению объема сбрасываемых загрязненных сточных вод, то это может привести к стремительной деградации экосистемы.

Таким образом, исходя из полученных результатов и выводов, можно предложить следующие рекомендации, которые будут направлены на минимизацию антропогенного воздействия в будущем.

1. Сокращение сброса сточных вод. В случае отсутствия данной возможности сброс наиболее загрязненных сточных вод следует осуществлять с учетом гидрологического режима реки.

2. Учитывать ежегодное снижение стока при установлении квот на забор воды для всех водопользователей.

3. Проводить регулярный экологический мониторинг шахтных вод и донных отложений с целью установления максимально допустимых концентраций и объемов загрязняющих веществ, сбрасываемых с предприятий-водопользователей.

Библиографический список

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). URL: https://gmvo.skniivh.ru/ (дата обращения 24.08.2020).

2. Закруткин В.Е. Современный химический состав и тенденции пространственно-временной изменчивости качества речных вод Восточного Донбасса / В.Е. Закруткин, О.С. Решетняк, Г.Г. Бабаян, Е.В. Гибков, Г.А. Саакян, В.Н. Решетняк // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2017. - № 2. - С. 101-109.

3. Закруткин В.Е. Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно нарушенных геосистем Восточного Донбасса: формирование химического состава и оценка качества / В.Е. Закруткин, Г. Ю. Скляренко, Е. Н. Бакаева, О. С. Решетняк, Е. В. Гибков, Н.Е. Фоменко. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2016. - 170 с.

4. Качество поверхностных вод Российской Федерации / Е. Е. Лобченко, В. П. Емельянова и др. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2018.

5. Лурье П.М. Река Дон: гидрография и режим стока / П.М. Лурье, В.С. Панов. – Ростов-на-Дону: ООО «Издательский дом», 2018. – 592 с.

6. Решетняк В.Н., Решетняк О.С. Тенденции изменчивости качества воды реки Тузлов // Актуальные проблемы наук о Земле: сб. тр. науч. конф. студентов и молодых ученых с междунар. участием. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2015. С. 404-407.

7. Экологические вестники Дона "О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области" за 2008-2018 гг. Ростов-на-Дону: Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. 2009-2019 гг.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕК БАССЕЙНА Р. ПУР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Саноцкая Н.А.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

SPECIFIC FEATURES OF DETERMINING THE PROVIDED WATER FLOWS OF THE RIVERS OF THE RIVER PUR BASIN UNDER CLIMATE CHANGE

Sanotskaya N.
Russian State Hydrometeorological University, Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Аннотация. В докладе представлены результаты обработки рядов среднегодового и максимального стока рек бассейна р. Пур с начала наблюдений до 2018 г. Выявлены закономерности изменения стока за последние десятилетия. Представлены предложения для вычисления обеспеченных расходов воды.

Annotation. The report presents the results of processing the series of the average annual and maximum runoff of the rivers of the river basin. Pur from the beginning of observations until 2018. The patterns of runoff change over the past decades have been revealed. Proposals for calculating the guaranteed water flow rates are presented.

В формировании водного режима рек рассматриваемой территории преобладающее влияние оказывают климатические факторы. Осадки, их распределение внутри года, температурный режим, испарение формируют годовой баланс рек и озер. Основными географическими факторами формирования стока являются болота, в большинстве своем приуроченные к водораздельным пространствам и занимающие 40-50 % территории района. Болотные пространства сильно обводнены озерами, расположенными на заболоченных площадях. Площадь озер иногда занимает до 70 % от площади болот. Большое количество малых озер расположено в долинах рек, многие из озер являются проточными. Характерной особенностью рассматриваемой территории является наличие многолетней мерзлоты, которая по-своему влияет на формирование стока. [1-7]

Главной фазой водного режима района является весеннее половодье, формирование которого происходит при интенсивном снеготаянии, мерзлых почвах, исключающих потери на фильтрацию и значительные аккумуляции талых вод в бассейнах рек. Формируется однопиковая волна половодья с крутой ветвью подъема и плавной продолжительной ветвью спада. Средняя продолжительность ветвь подъема весеннего половодья для реки Пур составляет 20-28 суток, ветвь спада имеет продолжительность 42-50 суток. Средняя продолжительность половодья составляет 68 суток.

Максимальные годовые уровни воды приходятся на период весенне-летнего половодья и, как правило, проходят при свободном ото льда русле.

Весенний ледоход начинается во второй половине мая и продолжается 3-5 дней. Характер ледохода интенсивный с частыми образованиями заторов.

На реке Пур глубина затопления в п. Самбург – 1,98 м и в п. Уренгой – 2,02 м.

Спад весеннего половодья превышает продолжительность подъема в 2-3 раза. Интенсивность спада тем больше, чем выше максимум весеннего половодья. В отдельные годы спад уровней прерывается незначительными подъемами, вызванными нагонными северными и северо-восточными ветрами и отдельными интенсивными дождями.

Летне-осенняя межень устанавливается в конце июля и продолжается до ледоставного периода.

Наименьшие меженные уровни наблюдаются в третьей декаде августа. Меженный ход уровней часто прерывается дождевыми паводками. Объем и количество паводков обуславливаются продолжительностью и интенсивностью дождей. В среднем на реках района за меженный период проходит 3 дождевых паводка. Максимальные модули стока дождевых паводков составляют 60-80 л/с км^2.

На рис. 1 представлен хронологический график изменения среднегодовых и максимальных уровней воды по посту р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале, 1939-2018 гг. В рассматриваемом районе этот пост наиболее освещен данными наблюдений.

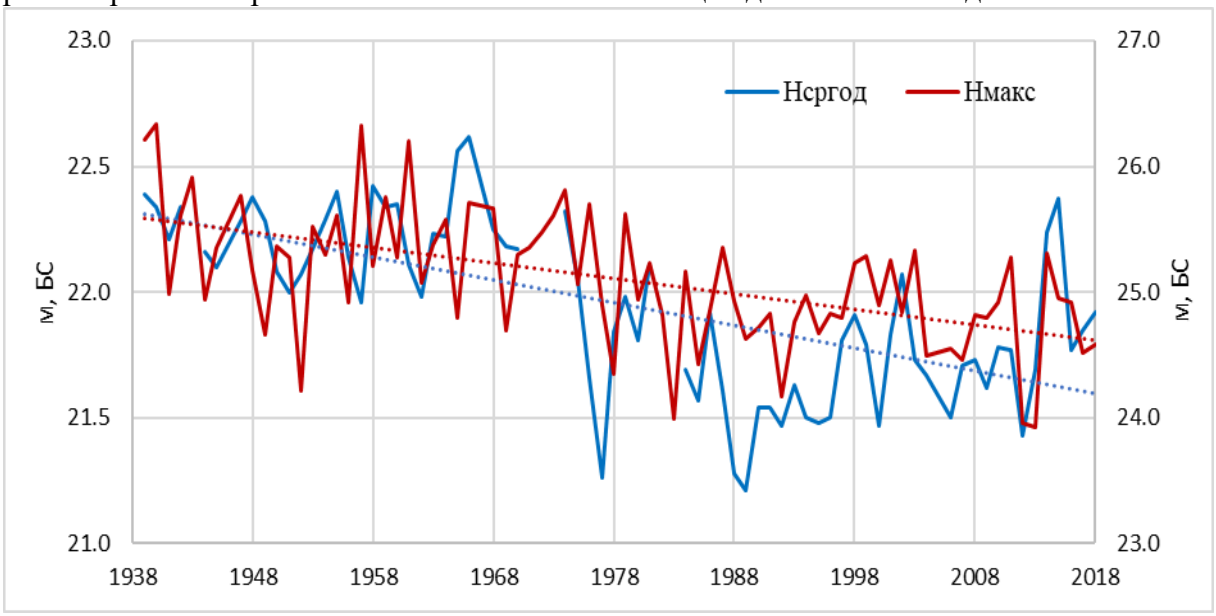


Рис.1. Среднегодовой и максимальный уровень воды, м БС, р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале

За период с 1939 по 2018 гг. отметки максимальных уровней воды весеннего половодья реки Пяку-Пур в створе поселка Тарко-Сале понизились в среднем на 0,7 м. В сравнении с рядом среднегодовых уровней воды, тренд на понижение имеет более слабый характер.

Режим уровней воды реки Пур в устьевой части искажается сгонно-нагонными явлениями, обусловленными сильными продолжительными северными и северо-восточными ветрами, которые в летний период здесь являются преобладающими. График колебаний уровней в этот период имеет зубчатую форму. Граница взаимодействия моря и реки не остается постоянной и в течение года смещается вверх и вниз по течению в зависимости от изменения водности потока. На величину распространения нагонных явлений оказывают влияние перекаты и острова в устьевой части, которые способствуют распространению подпора вверх по реке. Чаще всего нагоны имеют место в августе-сентябре. Амплитуда нагонных уровней изменяется от 0,5 до 1,5 м. Максимальная скорость нагона 40-70 см в сутки.

Питание рек осуществляется за счет таяния снегов, дождей и грунтовых вод. Доля каждой составляющей из них изменяется по территории в значительных пределах. Сток от снеготаяния составляет на севере района (в низовьях реки Пур) 50 и более процентов от годового. На юге района доля снегового питания составляет уже только 50% годового стока. Соответственно изменяются доли дождевого и грунтового питания. Если на севере дождевое питание дает 30-40 %, а грунтовое 10-20 %, то на юге роль

грунтового питания возрастает и достигает 25-30 % от суммарного годового объема стока.

На внутригодовое распределение стока кроме климатических факторов существенное влияние оказывают географические: болота, озера, лес, многолетняя мерзлота и другие, которые создают своеобразный тип гидрографа стока, получившего наименование Западно-Сибирского (классификация Б.В. Зайкова) и характеризующего наличием растянутого весеннего половодья (апрель – июль), короткой, но значительной по водности летне-осенней меженью (август – октябрь) и маловодной продолжительной зимой (октябрь – март).

В многоводные и средние по водности годы сток весеннего половодья составляет 60% от годового, а в маловодные годы 66-76 %.

Сток летне-осенней межени по годам: средний – 25-32 %, многоводный – 24-30 %, маловодный – 15-23 %. Значительное снижение стока летне-осенней межени для маловодного года происходит за счет увеличения доли весеннего половодья.

В средние и многоводные по водности годы объем стока весеннего половодья вдвое превышает объем стока летне-осенней межени и в 6 раз сток зимней межени.

В маловодные же годы объем весеннего стока выше летне-осеннего уже в 3-5 раз, а зимнего в 6-8 раз.

Хронологический график среднегодовых и максимальных расходов воды представлен на рис. 2.

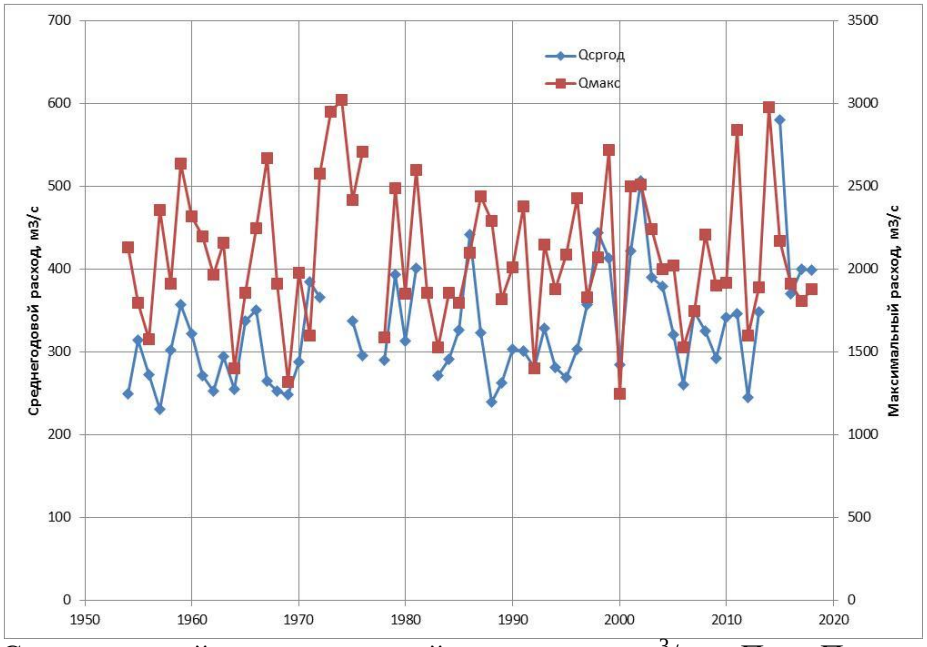


Рис. 2. Среднегодовой и максимальный расход воды, м^3/с, р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале

В таблицах 1 и 2 представлены обеспеченные расходы воды по постам р. р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале и р. Пур – п. Самбург. Расходы воды за период наблюдений 1954-68 и 1939-68 соответственно получены по данным «Ресурсов поверхностных вод» [8]. Обеспеченные расходы за период с начала наблюдений до 2012 рассчитаны по данным гидрологических ежегодников [9]. Для удлинения рядов до 2018 г. привлечены данные с сайта АИС ГМВО [10]. Ряд данных Пур – п. Самбург удлинен с использованием данных по посту Пур – г. Уренгой.

Таблица 1. Обеспеченные расходы воды, р. Пяку-Пур – п. Тарко-Сале, 31400 км^2.

Характеристика	Среднегодовой сток					Максимальный сток				
Период наблюдений	1954-68	1954-2012		1954-2018		1954-68	1954-2012		1954-2018	
Cs/Cv	2	1	2	1	2	0.6	1	2	1	2
P,%	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp
1	393	468	476	497	508	3020	3110	3180	3120	3180
2	358	452	460	479	488	2910	3010	3060	3010	3060
5	314	422	425	445	448	2740	2800	2820	2800	2820
10	300	398	398	417	417	2600	2630	2630	2640	2640
25	286	359	358	372	372	2360	2360	2360	2360	2360
Qcp=	288	319		328		2110	2090		2091	
Cv=	0.14	0.19		0.21		0.18	0.20		0.20	
Cs=	0.28	0.18		0.23		0.10	0.08		0.10	

По таблице 1 видно, что с увеличением периода наблюдений и с изменением климата среднегодовые обеспеченные расходы воды по посту р. Пяку-Пур –п. Тарко-Сале возросли в среднем на 25%, в то же время максимальные расходы воды практически не изменились.

Таблица 2. Обеспеченные расходы воды, р. Пур – п. Самбург, 95100 км^2.

Характеристика	Среднегодовой сток					Максимальный сток				
Период наблюдений	1954-68	1954-2012		1954-2018		1954-68	1954-2012		1954-2018	
Cs/Cv	2	1	2	1	2	-	1	2	1	2
P,%	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp	Qp
1	1151	1200	1216	1262	1282	8520	8120	8220	8070	8170
2	1075	1168	1183	1226	1243	8210	7920	8011	7870	7960
5	951	1108	1112	1155	1161	7840	7540	7560	7490	7510
10	920	1058	1058	1097	1097	7460	7220	7220	7170	7170
25	883	979	974	1004	1001	6900	6720	6680	6680	6630
Qcp=	887	895		908		6220	6180		6136	
Cv=	0.12	0.14		0.16		0.16	0.13		0.13	
Cs=	0.24	0.15		0.10		0	0.07		0.07	

По таблице 2 видно, что с увеличением периода наблюдений и с изменением климата среднегодовые обеспеченные расходы воды по посту р. Пур –п. Самбург возросли в среднем на 10%, в то же время как максимальные расходы воды уменьшились в среднем на 5 %.

Судя по полученным результатам – обеспеченные среднегодовые расходы возрастают, обеспеченные максимальные расходы практически не меняются – необходимо привлечение информации об изменении минимального летне-осеннего и зимнего стока для дальнейших выводов.

Литература

1. Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия РАН. Серия географическая. – 2016. – № 5. – С. 70–81.
2. Иванов В.В. Гидрологический режим низовьев и устьев рек Западной Сибири и проблема оценки его изменений под влиянием территориального перераспределения водных ресурсов // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1980. – № 55. – С. 20–43.
3. Иванов В.В., Третьяков М.В. Проблемы восстановления и развития системы гидрометеорологических наблюдений в устьевых областях рек Арктической зоны как основы государственного мониторинга этих поверхностных водных объектов // Общество. Среда. Развитие. – 2015. – № 4. – С. 151–160.
4. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 200 с.
5. Лезин В.А. Водные ресурсы рек и озер Тюменской области // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2011. № 12. С. 62-69.
6. Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Динамика водных ресурсов рек Арктической зоны Западной Сибири // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017. № 3 (96). С. 53-61.
7. Третьяков М.В., Брызгало В.А., Румянцева Е.В. Устьевые участки рек как индикаторы антропогенных изменений геоэкологического состояния устьевых областей рек Арктической зоны Российской Федерации // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2020. Т. 17. № 3. С. 311-323.
8. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1. Том 1. Выпуск 10. Бассейн Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура,Таза. 1981–2012 годы. – Новосибирск, Омск.
9. Ресурсы поверхностных вод. Т. 15, вып.3. (Нижний Иртыш и Нижняя Обь). – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 423 с.
10. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО), официальная страница: https://gmvo.skniivh.ru/

ГЛОБАЛЬНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ – ПРЕДИКТОР ЭЛЬ-НИНЬО И ЛА-НИНЬЯ

Серых И.В., Сонечкин Д.М.
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

GLOBAL ATMOSPHERIC OSCILLATION - PREDICTOR EL NINO AND LA NINA

Serykh I.V.,. Sonechkin D.M
Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Для прогноза Эль-Ниньо и Ла-Нинья с заблаговременностью в 12 месяцев предложен индекс-предиктор основанный на западно-восточном распространении Глобальной атмосферной осцилляции. Выявлен диапазон временных масштабов, внутри которого имеют место их наиболее тесные взаимосвязи.

For forecasting El Niño and La Niña with a lead time of 12 months, a predictor index based on the west-east spread of the Global Atmospheric Oscillation is proposed. A range of time scales within which their closest relationships take place have been identified.

Введение

В работах [1-4] была подвергнута проверке та точка зрения, что в возникновении пиков в спектрах процессов Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) повинны неравномерности вращения Земли. Проверка выполнена на доступных сейчас тщательно выверенных рядах инструментальных метеорологических наблюдений и их, так называемых, ре-анализах, т.е. рядах наблюдений, пропуски и внутренние несогласованности которых были исключены с помощью современных гидродинамических моделей общей циркуляции атмосферы. В результате все основные пики спектральной плотности в диапазоне временных масштабов от года до примерно десятилетия были соотнесены с тремя внешними периодическими воздействиями на климатическую систему: 1) Чандлеровским колебанием полюсов; 2) Лунно-солнечной нутацией; 3) Циклом солнечной активности. Главные периоды этих внешних воздействий составляют ~1.2, ~18.6 и ~11.5 года соответственно. По-видимому, они несоизмеримы друг с другом. Так что они воздействуют на климатическую систему, как бы, невпопад, и вместо хаоса порождают очень сложные, кажущиеся случайными вариации, среди которых наиболее известны «ритмы» ЭНЮК.

В [5, 6] было доказано, что ритмичность ЭНЮК не является изолированным региональным явлением, а есть часть некоторого общепланетарного процесса, названного по этой причине Глобальной Атмосферной Осцилляцией (ГАО) [7-9]. Пространственная структура ГАО была определена как средняя разность в среднемесячных полях давления на уровне моря и приповерхностной температуры, имеющих место при событиях Эль-Ниньо и противоположных им событиях Ла-Нинья.

Данные и методика

Как уже говорилось выше, одним из важных форсингов климатической системы является чандлеровское колебание полюсов Земли. Как было установлено еще во второй половине XX-го века, это колебание возбуждает в атмосфере и океанах приливные волны, распространяющиеся с запада на восток противофазно в умеренных широтах обоих полушарий. Континенты не являются непреодолимым препятствием для западно-восточного распространения атмосферных «полюсных» приливов. Поэтому можно ожидать, что в динамике внетропических компонент ГАО, коль скоро ГАО форсируется чандлеровским колебанием полюсов Земли, тоже будет наблюдаться

западно-восточное смещение. При рассмотрении временных изменений пространственной структуры ГАО в полях давления на уровне моря и приповерхностной температуры такое смещение действительно было найдено [10]. После нескольких проб удалось определить индекс, величина которого наиболее четко представляет это смещение. Назовем этот индекс – Предиктор Глобальной Атмосферной Осцилляции (PGAO). Он вычисляется как алгебраическая сумма средних нормированных аномалий приземного давления (P) и температуры (T) в 15 географических районах: PGAO = T(20°-50°с.ш., 160°-130°з.д.) + T(35°-25°ю.ш., 160°-80°з.д.) + T(65°-45°ю.ш., 150°в.д.-160°з.д.) + T(65°-45°ю.ш., 60°з.д.-0°) + T(40°-70°с.ш., 90°в.д.-180°) – T(30°ю.ш.-30°с.ш., 60°з.д.-180°) – T(60°-31°ю.ш., 90°-120°в.д.) – T(31°-60°с.ш., 100°-40°з.д.) + P(50°-70°с.ш., 170°в.д.-120°з.д.) + P(70°-50°ю.ш., 170°в.д.-120°з.д.) + P(60°ю.ш.-20°с.ш., 40°-80°в.д.) + P(30°ю.ш.-30°с.ш., 70°-10°з.д.) – P(0°-40°с.ш., 120°в.д.-120°з.д.) – P(45°-25°ю.ш., 120°в.д.-60°з.д.) – P(50°-70°с.ш., 50°-90°в.д.).

Используя индекс PGAO, основанный на западно-восточном распространении ГАО, мы далее продемонстрируем возможность прогноза событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья с заблаговременностью примерно в 12 месяцев, то есть с преодолением известного для традиционных прогнозов Эль-Ниньо весеннего предела предсказуемости.

Результаты

Для различных временных сдвигов были рассчитаны кросс-корреляции между PGAO и Расширенным Океаническим Индексом Эль-Ниньо (EONI) [10]. Основной максимум кросс-корреляций возникает, когда вариации PGAO предшествуют вариациям EONI примерно на 12 месяцев. Величина основного максимума кросс-корреляций очень велика (0,7). Используя это, можно предсказать значение EONI, то есть возникновение Эль-Ниньо или Ла-Нинья, с приблизительно годовой заблаговременностью. Часть объясненной общей изменчивости EONI при этом составляет почти 50%. Таким образом, этот прогноз может быть довольно успешным.

Чтобы определить, как связи между PGAO и EONI зависят от временного масштаба, мы использовали технику кросс-вейвлетного анализа между временными рядами PGAO и EONI [11, 12]. В верхней части Рис. 1 показаны временные ряды PGAO и EONI. Из них ясно видно, что почти все локальные максимумы и минимумы EONI запаздывают примерно на один год относительно максимумов и минимумов PGAO.

Кросс-вейвлетная диаграмма временных рядов PGAO и EONI, показанная на Рис. 1 внизу, соответствует временному сдвигу ряда PGAO на 12 месяцев вперед. На ней можно увидеть слабые связи между PGAO и EONI в диапазоне короткопериодных временных масштабов (менее 2 лет). Это неудивительно, поскольку ряд PGAO сдвинут на 12 месяцев вперед, и поэтому все короткопериодные экстремумы исследуемых рядов оказались разнесены по времени. Но при этом существуют довольно сильные связи на временных масштабах вейвлетов более 2 лет, особенно в диапазоне от 2 до 10 лет.

Следовательно, изменения во временных рядах PGAO и EONI на соответствующих временных масштабах находятся в фазе при условии, что временной ряд PGAO опережает временной ряд EONI. Другими словами, предсказания значений ряда EONI, основанные на значениях ряда PGAO, измеренных 12 месяцами ранее, были бы весьма успешными. Учитывая динамику ГАО и ЭНЮК как динамику странного нехаотического аттрактора (СНА), возможно дальнейшее увеличение времени прогноза до нескольких лет, по крайней мере, в принципе.

Единственными исключениями являются интервалы календарных лет 1975-1980, 1993-1994 и 2003-2008, в которых на кросс-вейвлетной диаграмме Рис. 1 преобладают слабые или даже отрицательные связи между PGAO и EONI. Поэтому прогнозы, сделанные для этих интервалов, будут неудачными. К счастью, во все эти интервалы

имели место только слабые события Эль-Ниньо и Ла-Нинья, а также нейтральные состояния. Таким образом, можно было бы ожидать, что предсказания сильных событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья всегда будут успешными.

Для конкретных прогнозов Эль-Ниньо и Ла-Нинья представляется полезным рассмотреть вопрос о том, насколько высоки значения скользящих кросс-корреляций между временным рядом PGAO и временным рядом EONI, вычисленными как единое целое, то есть для всего диапазона временных масштабов. Такие скользящие кросс-корреляции временных рядов EONI и PGAO (PGAO сдвинут на 12 месяцев вперед) показаны на Рис. 1 вверху. Можно видеть, что скользящие кросс-корреляции довольно высокие (0.6-0.8) в периоды сильных событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья. Сильные события Эль-Ниньо 1957/58, 1965/66, 1968/69, 1972/73, 1982/83, 1986/87, 1997/98, 2009/10 и 2015/16 прогнозируются успешно. Также успешно прогнозируются сильные события Ла-Нинья 1970/71, 1988/89, 1998/99 и 2010/11. Однако скользящие кросс-корреляции являются низкими, когда процессы ЭНЮК близки к нейтральным. В этих случаях некоторые экстремумы EONI не прогнозируются. Таким образом, подтверждается, что экстремумы процессов ЭНЮК более предсказуемы, чем их около-нейтральные состояния.

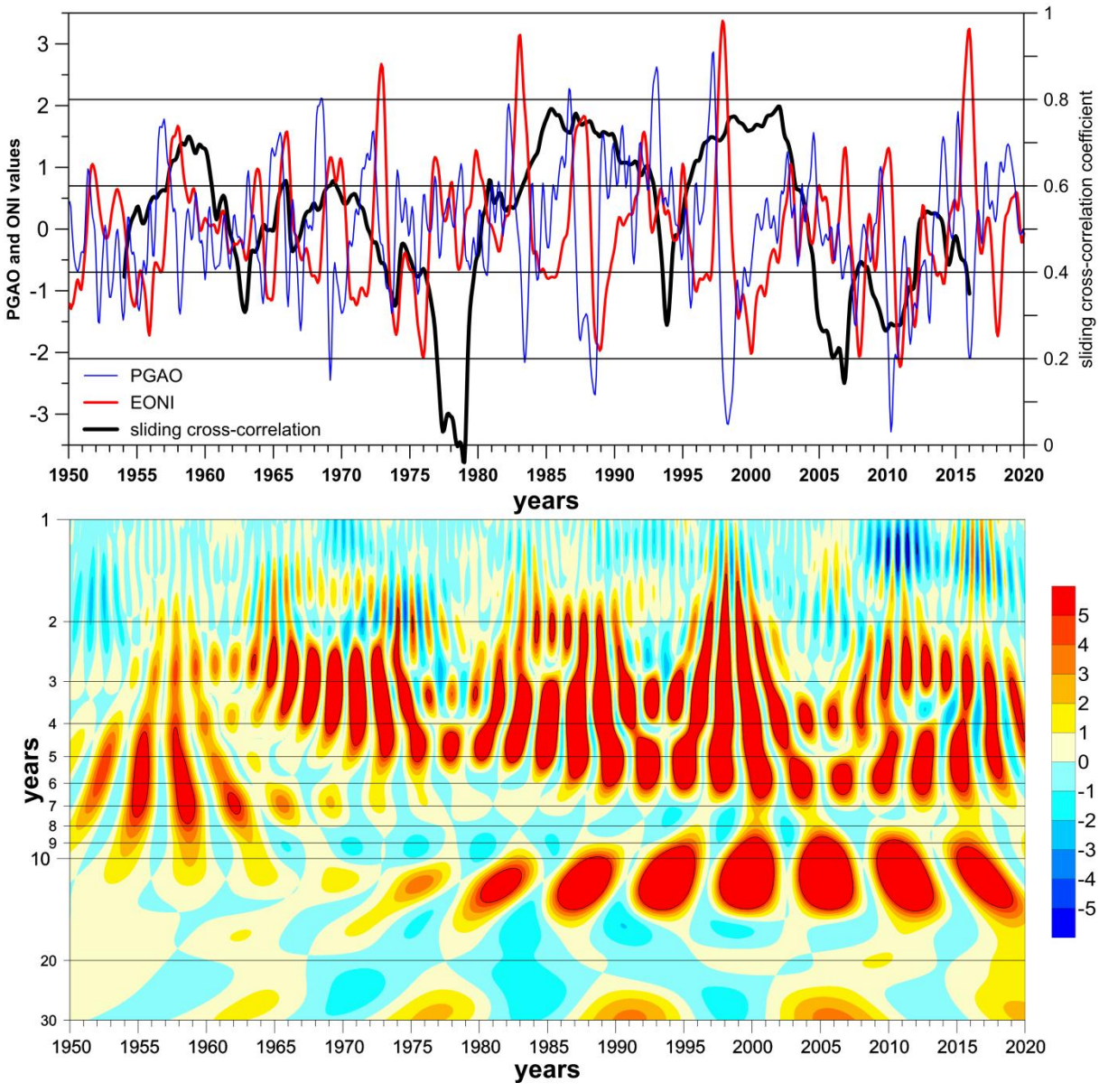


Рис. 1. Графики Расширенного Океанического Индекса Эль-Ниньо (EONI) (красный) и индекса-предиктора Глобальной Атмосферной Осцилляции (PGAO) (синий), сглаженные 5-месячным скользящем средним, детрендированные, центрированные и нормализованные на их стандартные отклонения за период 1950-2019 (вверху). Черная линия – значения скользящих кросс-корреляций этих индексов с окном 8 лет и PGAO смещенным вперед на 12 месяцев. Кросс-вейвлетная диаграмма этих индексов без фильтрации с PGAO смещенным вперед на 12 месяцев (внизу). Красные области диаграммы соответствуют синфазному поведению, а синие - противофазному поведению сопоставляемых вариаций.

Выводы

Пересмотрена общепринятая парадигма ограниченной предсказуемости изменений погоды и климата. Для этого используется предположение о странной нехаотичности короткопериодных (от одного года до одного десятилетия) климатических изменений. Это предположение уже использовалось ранее для анализа временных спектров Эль-Ниньо – Южного колебания (ЭНЮК) [1-4].

В качестве основного сигнала короткопериодных климатических изменений рассмотрена недавно обнаруженная так называемая Глобальная Атмосферная Осцилляция (ГАО), которая включает в себя как процессы ЭНЮК, так и хорошо известные внетропические моды климатической изменчивости [5-9].

Определены индексы, характеризующие ГАО и ЭНЮК, в том числе индекс-предиктор ГАО (PGAO), временная эволюция которого предшествует временной эволюции индекса Эль-Ниньо (EONI) [10]. Используя вейвлет-технику для анализа кросс-корреляций между временными рядами PGAO и EONI, выявлены диапазоны временных масштабов, в которых существуют тесные связи между ГАО и ЭНЮК [11-12].

Как продемонстрировано в ряде ранее опубликованных работ [1-4], глобальная климатическая система на межгодовых периодах находится под влиянием нескольких внешних сил: 1) Чандлеровского колебания полюсов; 2) Лунно-солнечной нутации; 3) Цикла солнечной активности. Главные периоды этих внешних воздействий составляют ~1.2, ~18.6 и ~11.5 года соответственно. По-видимому, они несоизмеримы друг с другом.

Коль скоро это так, они воздействуют на климатическую систему, как бы, невпопад, и вместо хаоса порождают очень сложные, кажущиеся случайными вариации, математическим образом которых является странный нехаотический аттрактор.

Принимая во внимание эти силы, а также западно-восточное распространение пространственной структуры ГАО, оказалось возможным предсказать значение EONI с заблаговременностью приблизительно 12 месяцев, то есть с преодолением весеннего предела предсказуемости Эль-Ниньо. Показана эффективность предсказаний Эль-Ниньо и Ла-Нинья с помощью PGAO в качестве единственного предиктора.

Литература

1. Серых И.В., Сонечкин Д.М. Хаос и порядок в атмосферной динамике: Часть 1. Хаотические вариации погоды // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2017. Т. 25. № 4. С. 4-22.
2. Серых И.В., Сонечкин Д.М. Хаос и порядок в атмосферной динамике. Часть 2. Междугодовые ритмы Эль-Ниньо – Южного колебания // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2017. Т. 25. № 5. С. 5-25.
3. Серых И.В., Сонечкин Д.М. Сопоставление временных энергетических спектров индексов Эль-Ниньо – Южного колебания и глобальных полей температуры и атмосферного давления в приповерхностном слое // Фундаментальная и прикладная климатология. 2017. Т. 2. С. 144-155.

4. Serykh I.V., Sonechkin D.M. Nonchaotic and globally synchronized short-term climatic variations and their origin // Theoretical and Applied Climatology. 2019. Vol. 137. No. 3-4. pp 2639–2656.
5. Серых И.В. О динамике и структуре Глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и реальности // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 1. С. 14-28.
6. Серых И.В., Сонечкин Д.М., Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А. Global atmospheric oscillation in troposphere and lower stratosphere // Системы контроля окружающей среды. 2018. № 13 (33). С. 70-78.
7. Бышев В.И., Иванов Ю.А., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Скляров В.Е., Щербинин А.Д. О проявлении эффекта Эль-Ниньо в Индийском океане // Доклады Академии наук. 2008. Т. 418. № 3. С. 391-396.
8. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О глобальном характере явления Эль-Ниньо в климатической системе Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 200-208.
9. Анисимов М.В., Бышев В.И., Залесный В.Б., Мошонкин С.Н., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В. О междекадной изменчивости климатических характеристик океана и атмосферы в регионе северной Атлантики // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 304-311.
10. Serykh I.V., Sonechkin D.M., Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu.A. Global Atmospheric Oscillation: An Integrity of ENSO and Extratropical Teleconnections // Pure and Applied Geophysics. 2019. Vol. 176. No. 8. pp 3737–3755.
11. Вакуленко Н.В., Серых И.В., Сонечкин Д.М. Хаос и порядок в атмосферной динамике. Часть 3. Предсказуемость Эль-Ниньо // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2018. Т. 26. № 4. С. 75-94.
12. Serykh I.V., Sonechkin D.M. El Niño forecasting based on the global atmospheric oscillation // International Journal of Climatology. 2020. https://doi.org/10.1002/joc.6488.

ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК В 21 ВЕКЕ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Сидорова М.В., Кашутина Е.А., Черенкова Е.А.
Институт географии РАН, Москва Россия

THE RIVER RUNOFF AND ITS CHARACTERISTICS CHANGES IN THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA IN THE 21ST CENTURY

Sidorova M.V., Kashutina E.A., Cherenkova E.A.
Institute of Geography RAS, Moscow Russia

Исследованы возможные изменения среднемноголетнего речного на Европейской России в 21 веке. Анализ основан на проекциях будущего климата ансамбля двенадцати моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) проекта CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project), наиболее достоверно отражающих региональный климат. Показано, что средний многолетний речной сток воспроизводится ансамблем моделей недостоверно. Чтобы оценить характеристики годового стока было предложено несколько методов на основе водно-балансовых соотношений. Согласно сценариям RCP4.5 и RCP 8.5, в Европейской России были выявлены разнонаправленные ожидаемые изменения повторяемости экстремально маловодных лет. Незначимое уменьшение вероятности появления экстремально маловодных ожидается в центре и на севере исследуемой территории, как к середине 21 века, так и к концу 21 века. В то же время, как ожидается, будет преобладать рост повторяемости экстремально маловодных лет в 2-4 раза на юге ЕТР. Как результат наиболее неблагоприятных проекций будущего регионального климата, возможно увеличение вероятности появления маловодных лет в 6-8 раз и катастрофического сокращение годового стока наполовину от современного стока.

Possible changes in the mean long-term river flow in European Russia in the 21st century are investigated. The analysis is based on projections of the future climate of the ensemble of twelve atmospheric and ocean general circulation models (AOGCMs) of the CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project) project, which most reliably reflect the regional climate. It is shown that the average long-term river runoff is not reproduced reliably by the ensemble of models. To assess the characteristics of the annual runoff, several methods have been proposed based on water-balance ratios. According to the RCP4.5 and RCP 8.5 scenarios, oppositely directed expected changes in the frequency of extremely dry years were revealed in European Russia. An insignificant decrease in the likelihood of the appearance of extremely low water is expected in the center and in the north of the study area, both by the middle of the 21st century and by the end of the 21st century. At the same time, it is expected that a 2-4 times increase in the frequency of extremely dry years will prevail in the south of the EPR. As a result of the most unfavorable projections of the future regional climate, the probability of occurrence of dry years may increase by 6-8 times and a catastrophic decrease in the annual runoff by half of the current runoff.

Исследования показали, что моделями общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) недостаточно хорошо воспроизводятся характеристики речного стока и можно ожидать значительных погрешностей и в прогнозах на будущие периоды, что снижает их ценность в научном и практическом отношении. Поэтому предложена другая схема расчета речного стока, основанная на использовании более надежно воспроизводимых МОЦАО характеристиках - осадках и температурах.

В качестве основы для расчета средних многолетних величин годового стока принят общеизвестный метод водного баланса в виде [1 и многие другие] $\overline{Y} = \overline{P} - \overline{E}$, где $\overline{Y}$, $\overline{P}$, $\overline{E}$ – средние многолетние величины (мм) стока, осадков и испарения с поверхности бассейнов. Расчет испарения $\overline{E}$ сведен к оценкам по уравнению связи $\overline{E} = E\left(\overline{P}, \overline{E_0}\right)$, где E_0 – испаряемость. Испаряемость, в свою очередь, определяется по эмпирической зависимости от суммы положительных температур воздуха T_0.

Возможность расчета изменчивости годового стока на основании данных об изменчивости осадков и увлажнения территории была показана и детально разработана с участием автора ранее (ссылка). Расчет основан на теоретической зависимости, связывающая коэффициент вариации стока Cvy с коэффициентом вариации осадков Cvp.

$C_{vy} = C_{vp}V$,

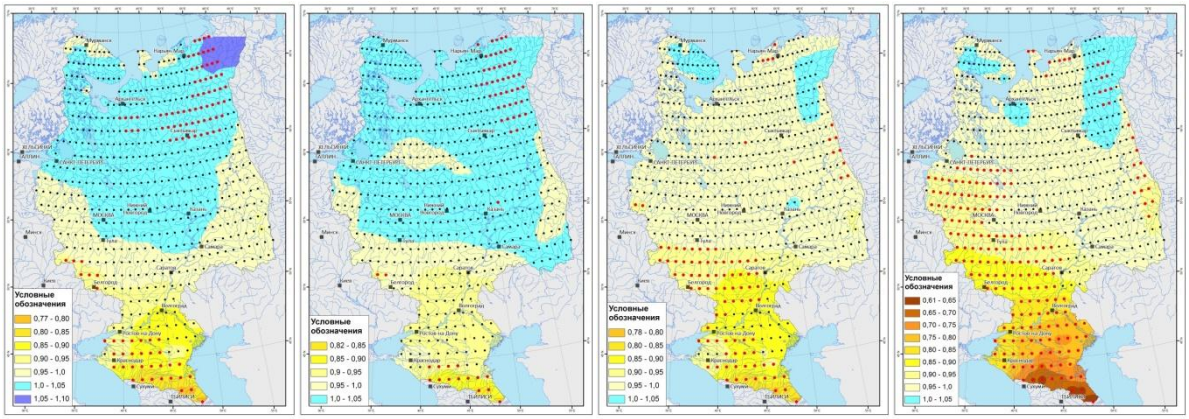
где V –коэффициент увлажнения $V = (1-\partial E/\partial P)/(1-E/P)$ функция от J ($J = E_0/P$) которая может быть записана в явном виде. Обнаружено, что коэффициент изменчивости стока в сравнении с данными измерений, лучше всего воспроизводится с использованием уравнения Шрайбера.

Для оценки изменения вероятности появления экстремально маловодных лет (обеспеченность более 95%) использована оценка изменения параметров функции распределения вероятности. В качестве функции распределения вероятности (ФВР) в гидрологических расчетах годового стока обычно используют трехпараметрическое гамма-распределение (кривые Крицкого-Менкеля) при соотношении Cs/Cv = 2. В данной работе оценены возможные изменения коэффициента вариации годового стока, а также вероятность появления маловодных лет на основании анализа изменения параметров ФРВ.

Исходными данными для построения и проверки расчетных схем послужили данные о месячных суммах осадков, температур и испаряемости из глобального архива CRU TS 3.21 (Climatic Research Unit, Time Series) пространственного разрешения 0.5° x 0.5°, подготовленного в Университете Восточной Англии. Данные по стоку на Европейской территории России были получены с использованием карт, обобщающих данные наблюдений за стоком до 1975 года (СП-33-101-2004 (ранее СНиП 2.01.14-83) [2] и с 1975 по 2010 гг. [3].

Результаты по эксперименту с ансамблем 12 моделей для территории Европейской территории России указывают на несколько большую вероятность снижения стока по сравнению с другими авторами. Так, по сценарию RCP 4.5 к середине 21 в. на северной части территории ЕТР относительные изменения стока (Ку) статистически незначимы. Южнее расположена зона характеризующаяся значениями Ку = 0,7÷0,9. Здесь можно констатировать статистически значимое понижение стока (рис.1,а). Для временного среза «конец 21 в.» зона значимого снижения стока несколько расширяется, занимая юго-западную окраину Европейской территории России (рис. 1,б).

Сценарий RCP 8.5 характеризует ситуацию, соответствующую максимальным антропогенным выбросам, то есть может рассматриваться как «пессимистичный» вариант развития событий. Анализ изменений годового стока для выбранного ансамбля 12 моделей показал ту же тенденцию, что и для сценария RCP 4.5, но более ярко выраженную с относительным снижением стока до 0,4-0,5 от современного годового стока. (рис.1,в,г).



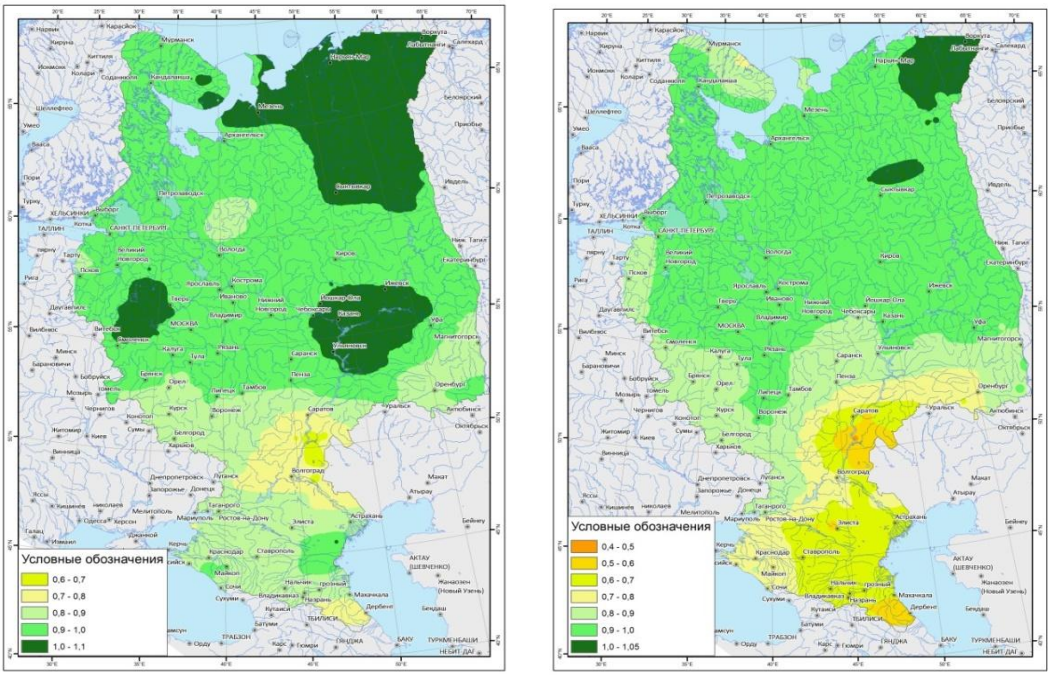
а б в г

Рис 1. Относительные изменения среднемноголетнего речного стока в долях от современного с учетом уровня значимости (RCP 4.5) а- середина 21 века; б – конец 21 века и (RCP 8.5) в- середина 21 века; г – конец 21 века. Красные точки указывают узел сетки с значимым изменением.

Согласно расчетам по данным 12 МОЦАО изменяется и коэффициент вариации стока (Cvy). Возможная интерпретация полученных результатов с точки зрения изменений водных ресурсов такова: с увеличением Cvy значения квантилей в области малых годовых расходов снижаются. Таким образом, общее снижение стока, вызванное уменьшением нормы стока, усугубляется увеличением межгодовой изменчивости стока, т.е повышением повторяемости маловодных лет. Причем даже небольшое увеличение изменчивости стока вызывает значительное повышение повторяемости лет с экстремально низкой водностью. В качестве экстремально маловодных лет, по меркам современного периода, примем годы с обеспеченностью годового стока Q менее 95%.

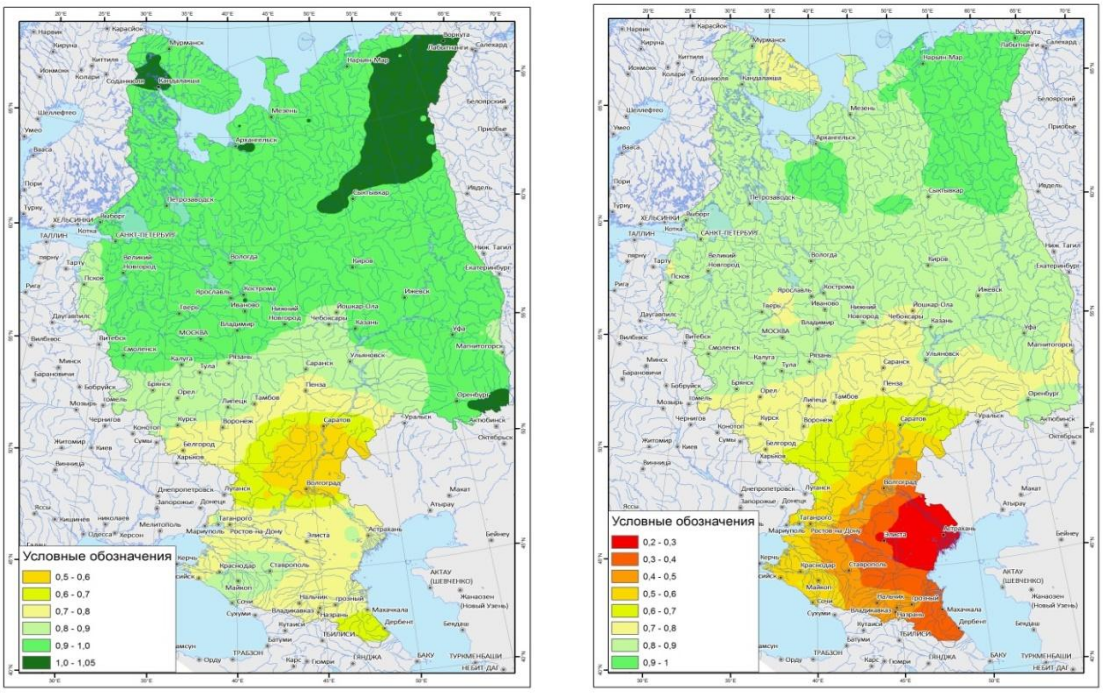
На территории Восточно-Европейской равнины в зоне севернее 55° с.ш., т.е. в области избыточного и достаточного увлажнения, в середине 21 века сток маловодных лет 95 % обеспеченности практически не меняется по сравнению с современным периодом и по сценарию RCP 4.5; и по сценарию RCP 8.5(рис. 2,а и 3,а). В конце 21 века во всей этой зоне (кроме Республики Коми) сценарий RCP 8.5 указывает на снижение стока маловодных лет 95% обеспеченности в 0,8 раза по сравнению с современными величинами, что свидетельствует об увеличении в этом регионе повторяемости засушливых лет в 2 и более раза (рис.2,б и 3 б).

Согласно расчетам по данным МОЦАО увеличение числа экстремальных маловодных лет будет характерно для южной и юго-восточной части Русской равнины к середине 21 века сток 95% обеспеченности будет составлять от 0,6 (по сценарию RCP 4.5) до 0,5 (сценарий RCP 8.5) от современных значений, что примерно соответствует увеличению количества маловодных лет в 4 раза (рис. 2,а и 3,а). К концу столетия повторяемость маловодных лет в бассейнах Дона, Кубани, Нижней Волги южнее Саратова, Терека еще увеличивается. По сценарию RCP 8.5 самая неблагоприятная ситуация прогнозируется на Нижней Волге (на юге Волгоградской, в Астраханской областях и в республике Калмыкия), где сток 95% обеспеченности составляет 0,2 от современных значений, что примерно соответствует увеличению количества маловодных лет в 8 и более раз (рис.3, а,б). Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-00891.



а б

Рис 2. Годовой сток 95% обеспеченности в XXI веке, относительно современного периода по сценарию RCP 4.5 (а – середина 21 века, б – конец 21 века).



а б

Рис 3. Годовой сток 95% обеспеченности в XXI веке, относительно современного периода по сценарию RCP 8.5 (а – середина 21 века, б – конец 21 века).

Литература:

1. *Постников А.Н.* К оценке среднемноголетних значений суммарного испарения с поверхности суши на основе уравнений связи. В сб. «Современные проблемы гидрометеорологии». СПб., РГГМУ,

1999. С. 141-152.;
2. Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л.: Гидрометеоиздат, 1986 – 28 листов.
3. *Джамалов Р. Г. и др.* Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: Формирование, распределение, использование // М.: ГЕОС. 2015. С. 315.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕФОРМИРОВНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА ПРИБРЕЖНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИИ АЗОВСКОГО МОРЯ

Сухинов А.И., Сидорякина В.В.
Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Россия
Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), Таганрог, Россия

NUMERICAL SIMULATION OF THE REFORMING OF THE BOTTOM RELIEF OF COASTAL SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE SEA OF AZOV

Sukhinov A.I., Sidoryakina V.V.
Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia
Taganrog Institute named after A.P. Chekhov (branch) of Rostov State Economic University (RINH), Taganrog, Russia

Обсуждаются особенности построения математических моделей функционирования прибрежных систем мелководных водоемов, включающие 2D модель транспорта наносов и 3D модель гидродинамики. Для предложенных моделей гидродинамических процессов разработаны параллельные алгоритмы, реализованные в виде комплекса программ. На примере Азовского моря продемонстрированы результаты работы разработанного программного комплекса, позволяющего прогнозировать динамику поведения дна, появление морских кос и гряд, их рост и трансформацию.

The features of constructing mathematical models of the functioning of coastal systems of shallow water bodies, including a 2D model of sediment transport and a 3D model of hydrodynamics, are discussed. For the proposed models of hydrodynamic processes, parallel algorithms have been developed, implemented as a set of programs. On the example of the Sea of Azov, the results of the work of the developed software complex are demonstrated, which allows predicting the dynamics of the bottom behavior, the appearance of sea streamers and ridges, their growth and transformation.

Различия водных объектов по их физико-географической принадлежности, морфометрическим и гидравлическим характеристикам, особенностям водосборных площадей и климатическим факторам существенно влияют на экологическое состояние и особенности рационального использования таковых. Оценка, прогноз и моделирование последствий неблагоприятных внешних воздействий на водные экосистемы есть одна из важнейших прикладных задач геоэкологии. Организация научно обоснованного мониторинга переформирования рельефа дна зависит от развития современных методов расчета концентрации вещества и его пространственно-временного распределения в водных объектах [1-4].

Водные потоки несут большое количество твердых частиц – наносов, перемещая частицы глины, илистых веществ, гравия, гальки, песка, лесса, карбонатных соединений, эмульсии минеральных масел, нефтепродуктов и другие составляющие. Наносы могут переноситься течением во взвешенном состоянии (взвешенные наносы), а могут перемещаться в придонном слое потока путем перекатывания, скольжения, сальтации (влекомые наносы) (Рис.1).

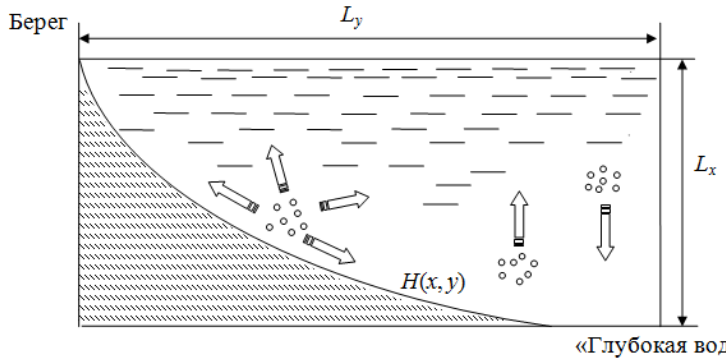


Рис. 1. Схема движения взвешенных и влекомых наносов

В работе, следуя [5-7], рассматривается уравнение транспорта наносов, которое в дивергентном виде можно записать:

$$(1-\varepsilon)\cdot\frac{\partial H}{\partial t}+div\left(k\cdot\vec{\tau}_b\right)=div\left(k\cdot\frac{\tau_{bc}}{\sin\varphi}\cdot gradH\right), \qquad (1)$$

где $H=H(x,y,t)$ – глубина водоема; ε – пористость донных материалов; $\vec{\tau}_b$ – вектор касательного тангенциального напряжения на дне водоема; τ_{bc} – критическое значение тангенциального напряжения, $\tau_{bc}=a\sin\varphi$, φ – угол естественного откоса грунта в водоеме; $k=k(H,x,y,t)$ – коэффициент, нелинейным образом зависящий от частных производных по пространственным переменным функции $H=H(x,y,t)$ и определяемый соотношением:

$$k\equiv\frac{\mathrm{A}\tilde{\omega}\mathrm{d}}{\left((\rho_1-\rho_0)gd\right)^{\beta}}\left|\vec{\tau}_b-\frac{\tau_{bc}}{\sin\varphi_0}\cdot gradH\right|^{\beta-1},$$

(ρ_1, ρ_0 – плотности частиц донного материала и водной среды соответственно; g – ускорение силы тяжести; $\tilde{\omega}$ – частота волны; A и β – безразмерные постоянные; d – характерные размеры частиц грунта).

Уравнение (1) для простоты рассматривается в прямоугольной области $D(x,y)=\{0<x<L_x, 0<y<L_y\}$ и дополняется условиями Дирихле.

Осуществим линеаризацию указанной начально-краевой задачи, используя равномерную временную сетку $\omega_\tau=\{t_n=n\tau,\ n=0,1,...,N,\ N\tau=T\}$. Линеаризацию члена $div\left(k\cdot\vec{\tau}_b\right)$ и коэффициента k выполним путем выбора их значений в момент времени $\mathrm{t}=\mathrm{t}_n$, $n=0,1,...,N$ и рассмотрения уравнения (1) на временном промежутке $\mathrm{t}_{n-1}<t\le\mathrm{t}_n$, $n=1,2,...,N$ [8].

В работах [9 – 11] показано, что решение построенной линеаризованной задачи существует, единственно, положительно и принадлежит классу функций $C^2(Ц_T)\cap C\left(\overline{Ц}_T\right)$, а также установлена сходимость решения линеаризованной задачи к решению нелинейной задачи в норме пространства $L_1(D)$ при $\tau\to 0,\ 0<t\le T,\ N\cdot\tau=T$.

Для расчета тангенциальных напряжений в модели транспорта наносов необходима информация о векторе скорости водной среды на дне водоема. Для его расчета использована трехмерная модель гидродинамики [12].

Для предложенной модели разработаны параллельные алгоритмы, реализованные в виде комплекса программ. На примере акватории Азовского моря выполнена серия численных экспериментов моделирования динамики изменения рельефа дна сложной конфигурации. В модельных задачах предполагалось присутствие на дне различных

неровностей, подстилающих его поверхность. Результаты численных экспериментов согласуются с реальными физическими экспериментами.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-01-00701_а).

Литература

1. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001. − 272 с.
2. Попков, В.И. Структурные особенности и генезис дислокаций дна Азовского моря // Геология, география и глобальная энергия. −2008. −№ 1.−С. 77-90.
3. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В., Цыганкова А.Е., Хартиев С.М., Иошпа А.Р., Архипова О.Е., Кропянко Л.В., Сушко К.С., Шевердяев И.В., Беспалова Е.В. Современные опасные экзогенные процессы в береговой зоне Азовского моря. — Электрон. текстовые данные. — Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015.— 324 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/68575.html.— ЭБС «IPRbooks»
4. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г. Современные природные и социальные риски в Азово-Черноморском регионе // Вестник Российской академии наук. – 2013. – Т. 83, № 12. – С. 1059. DOI: 10.7868/S0869587313100071.
5. Sukhinov A.I., Sidoryakina V.V. About correctness of the suspension transport and sedimentation model, taking into account bottom relief changes // Computational mathematics and information technologies. – 2018. – V. 2, № 2. – P. 76-90. DOI: https://doi.org/:10.23947/2587-8999-2018-2-76-90.
6. Sukhinov A.I., A.A. Sukhinov Reconstruction of 2001 ecological disaster in the Azov sea on the basis of precise hydrophysics models // In: Parallel Computational Fluid Dynamics, Multidisciplinary Applications, Proceedings of Parallel CFD 2004 Conference, Las Palmas de Gran Canaria, Spain, Elsevier, Amsterdam. 2005. P. 231–238. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-044452024-1/50030-0.
7. Sukhinov A.I., Chistyakov A.E., Sidoryakina V.V., Protsenko E.A. (2019) Parallel Numerical Solution of the Suspension Transport Problem on the Basis of Explicit-Implicit Schemes. In: Sokolinsky L., Zymbler M. (eds) Parallel Computational Technologies. PCT 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1063. Springer, Cham DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-28163-2_18.
8. Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А., Сидорякина В.В., Проценко С.В. Комплекс объединенных моделей транспорта наносов и взвесей с учетом трехмерных гидродинамических процессов в прибрежной зоне // Матем. моделирование, 32:2 (2020), 3–23. DOI: https://doi.org/10.20948/mm-2020-02-01.
9. Сидорякина В.В., Сухинов А.И. Исследование корректности и численная реализация линеаризованной двумерной задачи транспорта наносов // Ж. вычисл. матем. и матем. физ., 57:6 (2017), 985–1002; Comput. Math. Math. Phys., 57:6 (2017), 978–994. DOI: https://doi.org/10.7868/S0044466917060138.
10. Сухинов А.И., Сидорякина В.В., Сухинов А.А. Достаточные условия сходимости положительных решений линеаризованной двумерной задачи транспорта наносов. Вестник Донского государственного технического университета. 2017; 17(1): 5-17. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2017-17-1-5-17.
11. Сухинов А.И., Сидорякина В.В. О сходимости решения линеаризованной последовательности задач к решению нелинейной задачи транспорта наносов // Матем. моделирование, 29:11 (2017), 19–39.
12. Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А., Сидорякина В.В., Проценко С.В. Параллельные алгоритмы решения задачи динамики изменения рельефа дна в прибрежных системах // Вычислительные методы и программирование. 2020. **21**. 196-206. doi 10.26089/NumMet.v21r318.

АДВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ КАРСКОЕ МОРЕ

Соколов А.А. [1], Иванов В.В. [1,2], д-р физ.-мат. наук
[1]Арктический и антарктический НИИ, Санкт-Петербург, Россия
[2]Московский государственный университет, Москва, Россия

ADVECTIVE HEAT AND MASS TRANSFER ACROSS THE KARA SEA

Sokolov A.A. [1], Ivanov V.V. [1,2], Dr. Sc.
[1]Arctic & Antarctic Research Institute, Saint-Petersburg, Russia
[1]Moscow State University, Moscow, Russia

Проанализирован среднемноголетний (1993 – 2018) тепломассоперенос через Карское море на основе данных океанского реанализа. Наиболее интенсивный поток тепла выявлен в западной и в северной частях моря. Отмечено значительное усиление потока тепла между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа и в желобе Св. Анны в 2000-е годы.

The average long-term (1993 - 2018) heat and mass transfer across the Kara Sea is analyzed on the basis of ocean reanalysis data. The most intense heat flux was revealed in the western and northern parts of the sea. A significant increase in the heat flux between Novaya Zemlya and Franz Josef Land and in the St. Anna Trough was noted in 2000s.

Карское море — окраинное море Северного Ледовитого океана (СЛО). Южная и восточная части Карского моря связаны с прилегающими морями относительно узкими и мелководными проливами, тогда как северная часть Карского моря свободно сообщается с Арктическим бассейном СЛО через сравнительно широкий и глубоководный желоб Св. Анны и с Баренцевым морем – через пролив между архипелагами Новая Земля и Земля Франца-Иосифа (рис. 1). Рельеф дна Карского моря очень неоднородный. Наибольшие глубины находятся на западе и северо-западе моря. Вдоль побережья Новой Земли вытянута Новоземельская впадина с глубинами более 500 м. Севернее расположен желоб Св. Анны (с максимальной глубиной более 600 м), выходящий за пределы моря в Арктический бассейн. Между Центральной Карской возвышенностью и островами архипелага Северная Земля дно моря прорезает желоб Воронина с глубинами более 200 м [1]. Общая циркуляция вод моря характеризуется переносом с запада на восток. Баренцевоморские воды попадают в Карское море через пролив Карские ворота на юго-востоке и через пролив между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа на северо-востоке [2]. В докладе представлены результаты анализа среднемноголетних интегральных переносов объема, тепла и соли через проливы, соединяющие Карское море с сопредельными акваториями. Потоки характеристик рассчитывались по изложенной ниже методике.

Суммарный перенос воды (D_w) представляет интегральный перенос объема в заданном диапазоне глубин через единичный сегмент, соответствующий узлу разреза. Интеграл D_w по всей длине разреза определяет суммарный перенос объема через весь разрез в направлении, перпендикулярном оси разреза. Пространственное положение большинства разрезов не совпадало с направлением осей координат, что привело к необходимости пересчета скоростей течения. Для этого использовалась формула:

$$Vn = v * cos(\alpha) + u * cos(\beta), \quad (1)$$

где Vn – скорость течения, нормальная к оси разреза в Карское море, β – угол наклона оси разреза относительно направления на восток, $\alpha = 90 - \beta$. В случае, когда ось разреза совпадала с направлением осей координат, использовались соответствующие компоненты скоростей течений. Для каждого узла разреза $Vn(z)$ интегрировалась по вертикали, чтобы получить суммарный перенос воды (D_W, м^2/с):

$$D_W = \int_{z_l}^{z_{up}} Vn(z) \approx \sum_j 0{,}5(Vn_j + Vn_{j+1})(z_{j+1} - z_j), z_l \le z_j \le z_{up} \quad (2)$$

Произведение аномалии температуры ($T(z)–T_{ref}$) и скорости течения пропорционально потоку тепла (D_H, Wm^{-1}), которое выражается формулой:

$$D_H = \int_{z_l}^{z_{up}} \rho c_p Vn(z)\big(T(z) - T_{ref}\big)dz \approx$$
$$\sum_j 0{,}5\rho c_p\big[Vn(T_j - T_{ref}) + Vn(T_{j+1} - T_{ref})\big](z_{j+1} - z_j)\ z_l \le z_j \le z_{up} \quad (3)$$

Произведение аномалии солености ($S(z)–S_{ref}$) и скорости течения пропорционально потоку соли (D_S, кг/м/с):

$$D_S = \int_{z_l}^{z_{up}} \rho Vn(z)\big(S(z) - S_{ref}\big)dz \approx$$
$$\sum_j 0{,}5\rho\big[Vn_j(S_j - S_{ref}) + Vn_{j+1}(S_{j+1} - S_{ref})\big](z_{j+1} - z_j)$$
$$z_l \le z_j \le z_{up} \quad (4)$$

В формулах (2)-(4) z_l и z_{up} – нижний и верхний пределы интегрирования, c_p – удельная теплоемкость морской воды при постоянном давлении, а ρ – плотность морской воды (c_p и ρ были рассчитаны по уравнению состояния (http://www.teos-10.org/), Vn_j – скорость течения на уровне z_j. T_j и S_j –температура и соленость, измеренные на уровне z_j, соответственно, T_{ref} = –1,8°C, S_{ref} = 0. Величины суммарных переносов (F_W, F_H и F_S) рассчитывались путем горизонтального интегрирования средних по глубине потоков, по всей длине разреза (L). Были использованы следующие формулы:

$$F_W = \int_{(L)} D_W dl \approx \sum_{i=1}^{5} 0{,}5(D_{W_i} + D_{W_{i+1}})\Delta l_{i,i+1}, [Sv;\ 1\ Sv = 10^6\ \text{m}^3/\text{s}] \quad (5)$$

$$F_H = \int_{(L)} D_H dl \approx \sum_{i=1}^{5} 0{,}5(D_{H_i} + D_{H_{i+1}})\Delta l_{i,i+1}, [W] \quad (6)$$

$$F_S = \int_{(L)} D_S dl \approx \sum_{i=1}^{5} 0{,}5(D_{S_i} + D_{S_{i+1}})\Delta l_{i,i+1}, [\text{кг/с}] \quad (7)$$

где i обозначает номер узла разреза относительно его начала, $\Delta l_{i,i+1}$ - расстояние между двумя соседними узлами, обозначенными i и $i+1$.

В качестве исходных данных были выбраны вертикальные профили скорости, температуры и солености в слое от поверхности до дна за период с 1993 до 2018 гг., полученные из реанализа Global Ocean Physics Reanalysis GLORYS12V1(GLOBAL_REANALYSIS_PHP_001_030) (URL: http://marine.copernicus.eu/).

В таблице 1 представлены статистические характеристики интегральных потоков объема, тепла и соли для всех проливов, соединяющих Карское море с сопредельными акваториями. Наиболее значительное поступление воды в Карское море происходит между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа и составляет 1.65 Св (1 Св = 10^6 м^3/с). Среднемноголетний приток через пролив Карские ворота составляет 0.19 Св. Основной

сток из Карского моря происходит в Арктический бассейн через желоб Св. Анны (1.92 Св) и желоб Воронина (0.21 Св). Сток в море Лаптевых через пролив Вилькицкого составляет 0.27 Св. В целом, за исследуемый интервал времени (1993-2018) средний многолетний приток воды в Карское море через западные проливы составляет 1.84 Св. Средний многолетний сток воды в северной и восточной частях Карского моря за этот же временной интервал составил 2.4 Св. (рис. 2). Значимый положительный тренд в среднемесячной изменчивости потока воды (при уровне значимости 5%) отмечается для разрезов 1, 2 и 3 (см. рис. 1). Для разрезов 4 и 5 наоборот, отмечается ослабление потоков. По оценкам тренда было установлено, что за 26 лет общий поток воды через западную границу Карского моря, увеличился на 22% (от среднего значения), а через желоб Св. Анны – на 23%. Наиболее существенное усиление потока выявлено для пролива Карские ворота – 31%. Потоки воды также возросли в желобе Воронина на 8% и в проливе Вилькицкого – на 7% соответственно. В целом, усиление потока воды отмечается для всех проливов Карского моря.

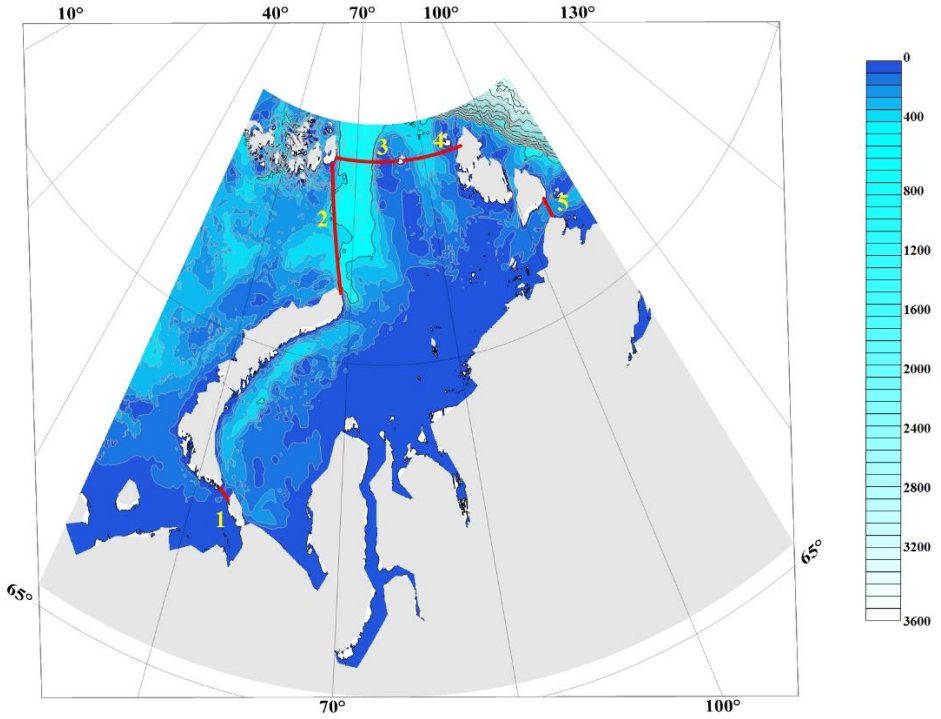


Рисунок 1. Рельеф дна Карского моря. Положение анализируемых разрезов показано красными линиями: 1 – Карские ворота, 2 – ЗФИ-Новая Земля, 3 – Желоб Святой Анны, 4 – Желоб Воронина, 5 – пролив Вилькицкого.

Наибольшее поступление тепла в Карское море происходит через его западную границу. В проливе Карские ворота, среднемноголетний приток тепла составил 1.59 ТВт, тогда как через границу между Новой Землей и землей Франца-Иосифа эта величина примерно в 3 раза больше, 6.20 ТВт. Основной сток тепла отмечается в желобе Св. Анны с величиной –8.06 ТВт, а в проливе Вилькицкого сток тепла составил -0.44 ТВт. Наименьший среднемноголетний сток тепла наблюдается в желобе Воронина –0.18 ТВт. По оценкам тренда оказалось, что за 26 лет поток тепла, проходящий через западную границу Карского моря, в проливе между Новой Землей и ЗФИ возрос на 51%, в желобе Св. Анны - на 41%. Увеличение потока тепла также отмечается в проливе Вилькицкого – на 38%., тогда как в желобе Воронина, наоборот, произошло ослабление потока на 28%.

Среднемноголетний перенос соли в Карское море имеет наибольшее значение через границу Новой Земли и Земли Франца Иосифа и составляет 59.52 х 10^6 кг/с. Сток соли из Карского моря в Арктический бассейн СЛО через желоба Св. Анны и Воронина, составил -76.64 х 10^6 кг/с, в проливе Вилькицкого поток соли составил -9.28 х 10^6 кг/с. По оценкам тренда оказалось, что за 26 лет поток соли через западную границу Карского моря в проливе между Новой Землей и Землей Франца Иосифа увеличился на 22%, а в желобе Св. Анны - на 23%. Возрастание потока соли отмечается также в желобе Воронина и в проливе Вилькицкого - на 8-9 %. Наибольшее возрастание потока соли отмечается в проливе Карские ворота – на 31 %. Указанные тенденции могут свидетельствовать о том, что в течение 26 лет произошло усиление Нордкапского течения, которое оказывает влияние на распределение температуры и солености воды в проливе Карские Ворота [3].

Таблица 1. Статистические характеристики интегральных потоков массы, тепла и соли, для жидких границ Карского моря: 1 – Карские ворота, 2 – ЗФИ-Новая Земля, 3 – Желоб Святой Анны, 4 – Желоб Воронина, 5 – пролив Вилькицкого, среднемесячных за период 1993–2018 год. (Qрасход – Св, Qтепла – ТВт и Qсоли 10^6 кг/с)

№ Разрез	Район	Стат. хар-ки	Qрасход			Qтепла			Qсоли		
	Карские ворота		сумм.	+	-	сумм.	+	-	сумм.	+	-
1	(70.33-70.58° с.ш.;57.41-58.41° в.д)	$\bar{x}$	0.19	0.19	-0.01	1.59	1.68	-0.11	6.59	6.60	-0.19
		σ	0.11	0.10	0.02	2.05	2.02	0.33	3.82	3.59	0.55
		R^2	0.03	0.033	0.009	0.064	0.070	0.002	0.034	0.035	0.011
		a, мес	0.0003	0.0002	0.00002	0.006	0.006	-0.00002	0.008	0.007	0.0006
2	ЗФИ- м. Желания	$\bar{x}$	1.65	2.47	-0.82	8.56	15.71	-7.21	59.52	88.93	-29.81
	(77.00-80.75° с.ш.;64.75-68.50° в.д)	σ	0.51	0.62	0.22	4.62	6.20	2.58	18.45	22.21	7.89
		R^2	0.05	0.12	0.20	0.14	0.23	0.24	0.05	0.12	0.20
		a, мес	0.0013	0.002	-0.001	0.019	0.032	-0.014	0.047	0.08	-0.039
3	Жёлоб Святой Анны	$\bar{x}$	-1.92	1.18	-3.10	-8.06	11.27	-19.32	-69.08	-42.54	111.59
	(80.91° с.ш.;65.50-79.00° в.д)	σ	0.541	0.33	0.76	4.81	4.24	7.26	19.46	11.76	27.40
		R^2	0.07	0.26	0.17	0.06	0.31	0.24	0.08	0.26	0.17
		a, мес	0.0016	-0.0019	0.0034	0.01	-0.03	0.04	0.059	-0.06	0.12
4	Жёлоб Воронина	$\bar{x}$	-0.21	0.47	-0.69	-0.18	2.48	-2.63	-7.56	17.02	-24.62
	(80.91° с.ш.;80.50-93.50° в.д)	σ	0.10	0.02	0.25	0.63	1.65	1.45	3.62	7.02	9.04
		R^2	0.003	0.23	0.15	0.036	0.22	0.20	0.004	0.23	0.16
		a, мес	0.0001	-0.001	0.001	-0.0013	-0.008	0.007	0.036	-0.037	0.039
5	Пролив Вилькицкого	$\bar{x}$	-0.27	0.13	-0.41	-0.44	0.45	-0.90	-9.28	4.78	-14.34
	(77.75-8.33°с.ш.;7104.50° в.д)	σ	0.14	0.09	0.16	0.56	0.43	0.85	4.92	3.34	5.62
		R^2	0.002	0.28	0.12	0.01	0.31	0.12	0.002	0.29	0.12
		a, мес	6E-05	-0.0006	0.0006	0.0007	-0.003	0.003	0.002	0.02	0.02

Для определения внутригодовой изменчивости потока тепла для каждого разреза рассчитывался средний внутригодовой ход (рис. 2). Наиболее значимая внутригодовая изменчивость потока тепла отмечается в западной части Карского моря в проливе Карские ворота, а также в проливе между Землей Франца-Иосифа и Новая Земля и в желобе Св. Анны. В проливе Вилькицкого и в желобе Воронина также присутствует внутригодовая изменчивость, но в меньшей степени. Поток тепла между Землей Франца-Иосифа и Новой Землей увеличивается в апреле достигает максимума в сентябре. В желобе Святой Анны указанные фазы запаздывают на 2 месяца (см. рис. 2). В проливе Карские ворота поток начинает увеличиваться в мае и достигает максимума в октябре. Данная тенденция изменения внутригодового хода потока тепла определяется как скоростью течений, так и температурой воды.

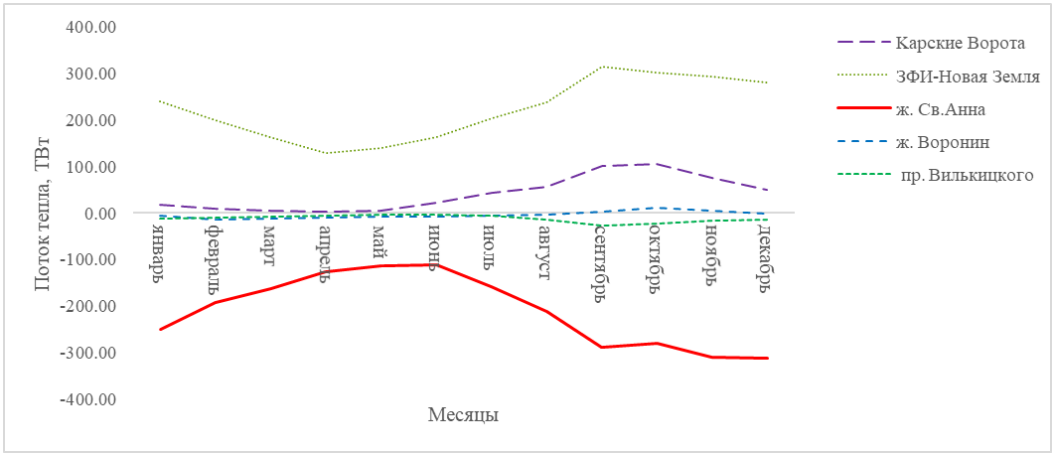


Рисунок 2. Внутригодовой ход интегральных по вертикали горизонтальных потоков тепла через жидкие границы Карского моря за период 1993–2018 гг.

Литература

[1] Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. Природа и хозяйство. М.: Издательство «Мысль», 1965. 350 с.

[2] Investigation of the summer Kara Sea circulation employing a variational data assimilation technique / G. Panteleev [et al.] // Journal of Geophysical Research: Oceans. – 2007. – Vol. 112. – P. 1-21.

[3] Соколов А.А., Гордеева С.М. Изменение адвекции тепла в Баренцевом море// Российская Арктика 2019, № 4. С.34-44.

НОВЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА АРКТИКИ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО СЦЕНАРИЯ

Соломонова И.В. [1], канд. техн. наук, Н.А. Дианский[2,3,4], д-р физ.-мат. наук, А.В. Гусев[3,5], канд. физ.-мат. наук
[1]Институт водных проблем РАН, Москва, Россия;[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия; [3]Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН, Москва, Россия; [4]Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия; [5]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

ESTIMATION OF LONG-TERM VARIABILITY OF AIR TEMPERATURE IN THE ARCTIC BASED ON A COMBINED SCENARIO

Solomonova I.V. [1], Cand.Sc.,. Diansky N.A [2,3,4], Dr.Sc., Gusev A.V. [3,5], Cand.Sc.
[1]Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; [2]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; [3]Marchuk Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia; [4]N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia; [5]P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

Показано, что применение 80-ти летней циклической составляющей, используемой в гипотезе Г.Н.Панина о парниково-циклическом характере климатических изменений, дает лучшее соответствие результатов моделирования натурным данным, чем 60-ти летняя. Эта корректировка позволила уточнить сценарий изменения приземной температуры воздуха в Арктике в XXI веке.

It is shown that the use of an 80-year cyclical component used in the hypothesis of G.N. Panin about the greenhouse-cyclical nature of climatic changes gives a better agreement between the simulation results and field data than the 60-year one. This adjustment made it possible to clarify the scenario of changes in surface air temperature in the Arctic in the 21st century.

Введение

Проведенные нами ранее в [1, 2 и др.] расчёты по оценке ледовитости океана в будущем по сценарию, основанном на гипотезе Г.Н. Панина, что мультидекадная изменчивость климата является комбинацией парникового эффекта и собственных колебаний, период которых около 60 лет показали, что в Северном полушарии в 1948–2009 гг. площадь льда в марте не претерпевала заметного уменьшения, изменяясь преимущественно циклическим образом, а площадь льда в сентябре в 2007 году упала до 5 млн. км^2. Однако в течение 2010-2071 гг. площадь льда в марте постепенно снижается, а в сентябре уменьшается до 2 млн. км^2. Это приводит к предположению, что во второй половине 21 века ледовитость Северного Ледовитого океана может заметно снизиться. При получении новых реальных данных площади распространения льда за 2010–2020 гг. и сравнению их с результатами расчётов, которые получены с помощью атмосферных данных, искусственно воссозданных по комбинированному сценарию [1, 2 и др.] за период 2010–2020 гг., были выявлены расхождения данных наблюдений с результатами расчётов, особенно выраженные в зимний период. Это свидетельствует о том, что гипотеза Г.Н.Панина о парниково-циклическом характере климатических изменений требует ревизии, заключающейся, в первую очередь, в уточнении длины периода, фазы и относительной амплитуды мультидекадных колебаний. Что и было сделано в данной работе (на примере изменения приземной температуры в Арктике).

Материалы и методы

Для прогностической оценки изменчивости температуры воздуха в Арктике использован специальный сценарий, основанный на гипотезе Г.Н. Панина [3, 4], что мультидекадная изменчивость климата является комбинацией «парникового» и «циклического» эффектов (*комбинированный сценарий оценок климатических изменений*). Под парниковым изменением климата подразумеваются климатические изменения, вызванные внешними факторами антропогенного или естественного (извержения вулканов, изменение солнечной постоянной и т.д.) характера. Под циклическими изменениями климата понимаются собственные колебания в совместной системе атмосфера-океан-суша. При этом полагалось, что главная частота наиболее сильных цикличных колебаний климата соответствует периоду колебаний в 60 лет, а один из экстремумов соответствует точке 2000 г.; парниковые изменения климата определяются линейным трендом

$$\Delta T \approx \Delta T_{\text{IPCC}} + k \sin \omega t, \quad (1)$$

где ΔT – прогнозируемая аномалия температуры приземного воздуха; ΔT_{IPCC} – аномалия температуры, прогнозируемая с помощью МЗС МГЭИК; ω – циклическая частота приблизительно 60-летних колебаний климата; t – время; $k(\lambda, \varphi)$ – эмпирический коэффициент, зависящий от координат (более подробно см. [2]).

На основе данной гипотезы была проведена декомпозиция данных CORE (Datasets for Common Ocean-ice Reference Experiments [5]) на парниковую составляющую (линейный тренд), мультидекадные колебания (синусоида с периодом 60 лет и экстремумом на 2000 году) и короткопериодную межгодовую изменчивость (согласно формуле (1)). Данные [5], основанные на реанализе NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research), характеризуются высоким качеством, достоверностью и сбалансированностью (что особенно важно для приходящей к поверхности Земли радиации), так как специально подготовлены для использования в моделях общей циркуляции океана. После этого были спрогнозированы атмосферные характеристики за 2010–2071 годы путём продолжения по времени парниковой и циклической эволюции, и добавлением к ним межгодовой изменчивости из предыдущего периода. С использованием воссозданных атмосферных характеристик был проведён расчёт на 62 года, в качестве начальных условий для которого были заданы результаты конца второго цикла расчёта на 1948–2009 г. Полученные данные применяются в качестве атмосферного воздействия для модели общей циркуляции океана INMOM (Institute of Numerical Mathematics Ocean Model), с помощью которой проводятся ретроспективные и прогностические расчёты по воспроизведению термохалинной циркуляции и морского льда в Атлантическом и Северном Ледовитом океанах на период 2010–2071 гг. В этой модели на основе полной системы уравнений гидротермодинамики океана рассчитываются все параметры циркуляции и термодинамического состояния вод океана, включая динамику и термодинамику морского льда [6].

Результаты

Проведены серии экспериментов по воссозданию изменения приземной температуры воздуха в Арктике по описанному выше сценарию, для уточнения величины «циклической» составляющей, которая является одним из компонентов для построения прогностических ансамблей метеопараметров. Ранее было показано, что значительный вклад в Арктический климат в XX в. вносят циклические изменения температуры (около 60 лет) [3, 4, 7–9]. Во внутривековых температурных полушарных, глобальных и региональных изменениях (в частности, в Северной Атлантике и атлантическом секторе Арктики) и в изменениях ледовитости арктических морей также

значимо проявляются вариации с периодом около шести десятилетий. Эти же колебания характерны и для Атлантической мультидекадной осцилляции, в свою очередь, связанной с термохалинной циркуляцией океана. Однако, проведенные нами исследования, показали, что использование 80-ти летней циклической составляющей дает более хорошие результаты при сравнении данных наблюдений и смоделированных данных (комбинированный сценарий) изменения температуры воздуха в Арктике, чем 60-ти летняя составляющая (рис. 1, 2).

Это подтверждается и при корреляционном анализе данных наблюдений с смоделированными нами данными (табл. 1). Для сопоставления были выбраны 2010–2018 гг., так как они не участвовали в построении прогноза, поскольку он строился по данным 1948–2009 гг. (см. методику). Из табл. 1 видно, что максимальная корреляция между среднегодовыми аномалиями приземной температуры воздуха над сушей за 2010–2018 гг. (по данным GISTEMP, NASA [14]) и результатами прогноза на основе комбинированного сценария, осредненные в полосе 64-90° с.ш., дает «цикл» в 80 лет (r=0.62). Используемый нами ранее шестидесятилетний цикл показал меньшую корреляцию (r=0.57), чем 80-ти летний. Стоит отметить, что нами были проведены эксперименты с различными вариантами цикличности. Здесь представлены для сравнения лишь некоторые характерные из них.

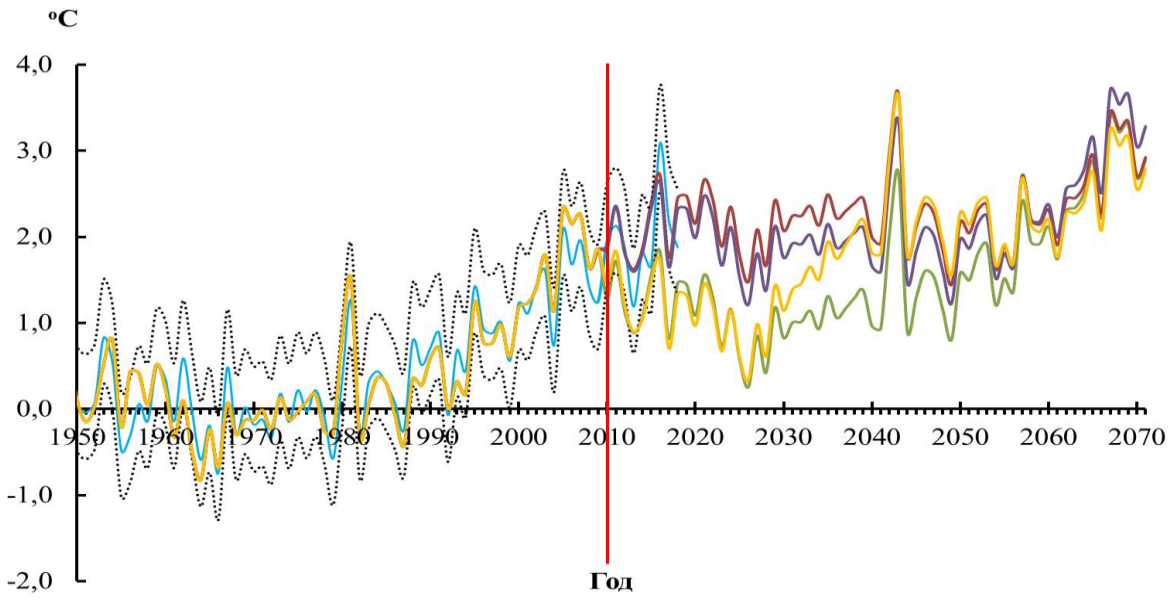


Рис. 1. Текущие значения изменения температуры воздуха над сушей (по данным [10], голубая линия) и сценарию прогноза за 1948–2071 гг. (аномалии). Оранжевая линия – «цикл» 50 лет, зеленая – 60 лет, фиолетовая – 70 лет, коричневая – 80 лет, красная линия – отмечает начало данных наблюдений (с 2010 г.), которые не использовались при моделировании, пунктирные черные линии – доверительный интервал 50%

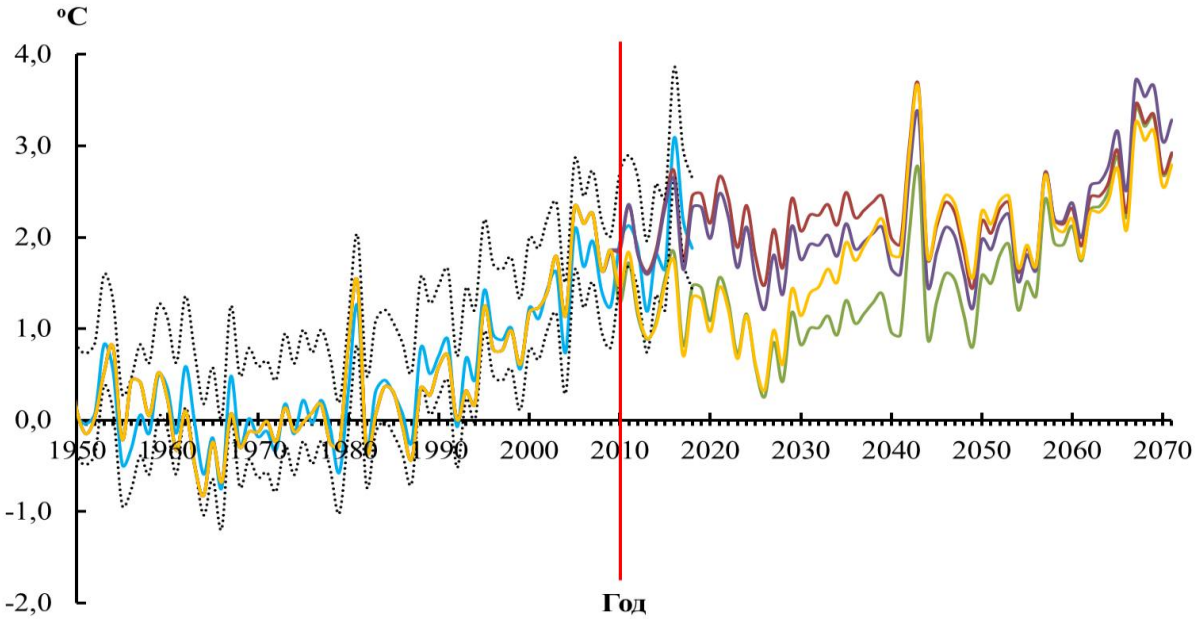


Рис. 2. Текущие значения изменения температуры воздуха над сушей (по данным [10], голубая линия) и сценарию прогноза за 1948–2071 гг. (аномалии). Оранжевая линия – «цикл» 50 лет, зеленая – 60 лет, фиолетовая – 70 лет, коричневая – 80 лет, красная линия – отмечает начало данных наблюдений (с 2010 г.), которые не использовались при моделировании, пунктирные черные линии – доверительный интервал 90%

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между среднегодовыми аномалиями приземной температуры воздуха над сушей за 2010–2018 гг. (по данным [10]) и результатами прогноза на основе комбинированного сценария (с разной «циклической составляющей»), осредненные в полосе 64-90° с.ш.

Цикл, лет	50	60	70	80
Коэффициент корреляции	0.48	0.57	0.61	0.62

Полученный результат – лучшее соответствие натурным данным изменения температуры воздуха в Арктике при использовании 80-ти летнего цикла по сравнению с 60-ти летним – более подробно планируется исследовать в дальнейшем. К тому же в работе [11] отмечено, что в записи колебаний температуры воздуха за последние 1000 лет взятые из ледяного керна в Кэмп Сенчури (Camp Century) на северо-западе Гренландии, появляются циклы 80 и 180 лет, которые являются преобладающими в ее естественной «истории».

Выводы

Уточнена величина «циклической» составляющей в предложенной модели Г.Н. Панина [3] аппроксимации климатических изменений на основе композиции «парникового» и «циклического» эффектов (для описания процессов, происходящих в полярных областях и прилегающих к ним районам).

Проведенный нами ряд экспериментов показал, что использование 80-ти летней циклической составляющей дает более хорошие результаты при сравнении данных наблюдений и смоделированных данных (комбинированный сценарий) изменений температуры воздуха в Арктике, чем применение 60-ти летней составляющей.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант №18-05-60111-Арктика

Литература

1. Дианский Н.А., Соломонова И.В., Гусев А.В. Оценка перспектив навигации по Северному морскому пути на основе комбинированного прогностического сценария // Труды Государственного океанографического института. 2018. № 219. С. 249-268.
2. Панин Г.Н., Дианский Н.А., Соломонова И.В., Гусев А.В., Выручалкина Т.Ю. Оценка климатических изменений в Арктике в XXI столетии на основе комбинированного прогностического сценария // Арктика: экология и экономика. 2017. № 2(26). С. 35-52.
3. Панин Г. Н. Об изменениях климата в полярных зонах Земли в XX и XXI столетиях // Докл. Акад. наук. 2009. Т. 427. С. 397-402.
4. Панин Г. Н., Дианский Н. А. Климатические изменения в Арктике, Северной Атлантике и Северный морской путь // Докл. Акад. наук. 2015. Т. 462. № 2. С. 217-222.
5. Large W., Yeager S. The global climatology of an interannually varying air–sea flux data set. // Clim Dyn. 2009. V. 33. P. 341-364.
6. Дианский Н.А. Моделирование циркуляции океана и исследование его реакции на короткопериодные и долгопериодные атмосферные воздействия. М.: Физматлит, 2013. 272 с.
7. Мохов И. И. Современные изменения климата в Арктике // Вестн. РАН. 2015. Т. 85, № 5-6. С. 478-484.
8. Мохов И. И., Хон В. Ч., Прокофьева М. А. Новые модельные оценки изменений продолжительности навигационного периода для Северного морского пути в XXI веке // Докл. РАН. 2016. Т. 468, № 6. С. 699-704.
9. Алексеев Г.В., Большиянов Д.Ю., Радионов В.Ф., Фролов С.В. 95 лет исследований климата и криосферы Арктики в ААНИИ // Лёд и снег. 2015. Т. 55, № 4. 14 с.
10. GISTEMP Team, 2017: GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP). NASA Goddard Institute for Space Studies. URL https://data.giss.nasa.gov/gistemp/.
11. Broecker W.S. Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming? // Science. 1975. V. 189. P. 460-463

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ И ДИСПЕРСИИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА В БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

Соломонова И.В [1], канд. техн. наук, А.В. Фролов[1], д-р техн. наук
[1]Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

FEATURES OF VARIABILITY OF MONTHLY AVERAGE VALUES AND DISPERSION OF WATER BALANCE COMPONENTS IN THE NORTHERN DVINA BASIN

. Solomonova I.V [1], Cand.Sc., A.V. Frolov[1], Dr.Sc
[1]Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Показано, что в среднемесячных значениях составляющих водного баланса реки С.Двина имеют место значимые изменения дисперсий и коэффициентов автокорреляции в определенные интервалы времени при практически неизменном математическом ожидании процесса. Такая ситуация может оказывать негативное влияние на качество жизни человека, например, создавая проблемы, связанные с наводнениями, или, наоборот, с дефицитом воды.

It is shown that in the average monthly values of the components of the water balance of the S. Dvina River, there are significant changes in variances and autocorrelation coefficients at certain time intervals with practically unchanged mathematical expectation of the process. This situation can have a negative impact on the quality of human life, for example, creating problems associated with floods, or, conversely, with water scarcity.

Введение

Происходящее в последние несколько десятилетий изменение климата приводит к изменению гидрологического цикла и пространственно-временному перераспределению водных ресурсов [1, 2]. Выявление воздействия изменения климата на гидрологические процессы в значительной степени основано на выявлении тенденций в гидроклиматических переменных. Однако изменения режима стока могут проявляться и более сложным образом. Из-за сложных изменений в характере осадков, температуры воздуха и других метеорологических переменных, до сих пор неясно, как именно эти изменения могут влиять на изменения стока реки [3-10].

Проведенное нами ранее исследование [6-9] многолетних колебаний стока С.Двины, осадков, температуры воздуха и испарения в её бассейне обнаружило следующую особенность. Средние величины стока, осадков и температуры воздуха оказались практически неизменны в 1891–1949 гг. и 1950–2008 гг. Т.е. в долгосрочной перспективе не происходит сколь либо заметных изменений стока, осадков и температуры воздуха и, следовательно, бассейн С.Двины (как кажется) не затронут климатическими изменениями, которые фиксируются по всему миру. Однако в этих же рядах данных обнаружены существенные различия по вторым моментам соответствующих функций распределения вероятностей (дисперсии (σ^2) и коэффициенту автокорреляции (r)) между этими двумя интервалами.

Если интерпретировать дисперсию как единицу изменения «риска» возникновения того или иного явления, то изменение дисперсии указывает на то, что при кажущейся неизменности средних значений процесса мы можем столкнуться с ситуацией, когда они (средние) могут существенно меняться в течение рассматриваемого короткого интервала времени, т.к. существенно меняется дисперсия. Такие краткосрочные «всплески» изменения стока могут вызывать либо наводнения, либо засухи. Тем более, когда к данным проявлением добавляется изменчивость таких факторов как осадки, температура воздуха, испарение. Поэтому при исследованиях стока рек и

составляющих водного баланса нельзя ограничиваться только изучением изменений средних значений. Необходимо рассматривать их в комплексе с дисперсией и коэффициентом корреляции.

Выявленная особенность подтверждается и в бассейнах других исследованных нами ранее рек по всему миру [6, 7].

Материалы и методы

Проанализированы ряды среднемесячных величин речного стока С.Двины (пост Усть-Пинега), слоев осадков и температуры воздуха, усредненные по бассейну этой реки за 1891–2008 гг. Созданная база данных, источники информации и методика исследования более подробно описаны в [6-9]. Сток С.Двины не зарегулирован, изъятия из стока незначительны, поэтому режим стока этой реки можно считать практически не искаженным прямым техногенным воздействием. Для выявления реакции стока на изменения климата на водосборе требуются достаточно длительные интервалы времени, необходимые для получения относительно надежных оценок статистических характеристик исследуемых процессов. Для большей надежности оценок моментов распределения стока, ряды наблюдений были разделены на две равные части, с продолжительностью в каждом интервале по 59 лет: 1891–1949 гг. и 1950–2008 гг. (в дальнейшем I-й и II-й интервалы соответственно). Для этих интервалов получены средние значения, σ^2 и r. Различие статистических характеристик между I-м и II-м интервалами ≥30% (примерно на треть), принимаем существенными изменениями в исследуемых процессах.

Результаты

Анализ среднемесячных значений стока С.Двины, осадков и температуры воздуха в ее бассейне подтвердил отмеченную выше, в многолетних рядах, тенденцию (неизменность средних значений при существенном изменении дисперсий), но в отличие от среднегодовых значений, разница между дисперсиями в I-м и II-м интервале существенно выше (рис.1 а, в, д). В среднемесячных рядах стока (рис. 1а) максимальное отличие между выбранными интервалами составляет 64% в августе, при годовом значении 34%. Такие изменения происходят практически в течение всего года, за исключением нескольких месяцев. В рядах осадков в бассейне (рис. 1в) не отмечается (ожидаемого) такого же изменения дисперсий между интервалами в течение года. Изменения происходят в 4 месяцах из 12, в то время как в рядах стока изменения дисперсий между интервалами происходят в 8 месяцах. Изменение дисперсий в рядах осадков должно было бы непосредственно сказаться на изменении дисперсий в рядах стока. И если изменение дисперсии осадков от одного интервала к другому в феврале (на 78%) явно могло повлиять на изменение дисперсии стока в марте и апреле, то для существенного изменения дисперсии в рядах стока в августе-декабре дальнейшего изменения дисперсии осадков в июле, сентябре и декабре (на 30, 34 и 32% соответственно) не достаточно. Более вероятно, что такое же изменение происходит и в рядах испарения в бассейне. Такой эффект подтверждается исследованием среднегодовых величин испарения в бассейне С.Двины [6, 8, 9]. Этот аспект будет исследован в дальнейшем. В среднемесячных рядах температуры воздуха (рис. 1д), в отличие от среднегодовых величин (где нет существенных изменений), появляются различие дисперсий от одного интервала к другому на 30% и более в 4-х месяцах. В среднемесячных значениях стока (рис. 1б), осадков (рис. 1г) и температуры воздуха (рис. 1е), так же как и в среднегодовых, не отмечается существенного изменения средних значений от I-го интервала ко II-му.

Интересен тот факт, что дисперсия от одного интервала к другому меняется не одинаково как в течение года, так и у самих исследуемых процессов (стока, осадков, температуры воздуха (рис. 1а, в, д – цветные круги)). В рядах осадков и температуры

воздуха дисперсия увеличивается во II-м интервале по сравнению с I-м в 8ми месяцах из 12-ти; в рядах стока – в 4х месяцах. Т.е. после 1950 г. среднемесячные значения стока, в основном, стали более размеренные, без резких изменений, а осадки и температура в бассейне наоборот – подвержены резким перепадам. Причем, практически всегда, за исключением февраля-марта, изменение дисперсии не совпадает сразу и у стока, осадков и температуры воздуха.

Похожий эффект был отмечен нами ранее в [6, 7]. Дисперсия стока рек Северной Америки, Австралии и Европы увеличивалась во втором интервале времени (за исключением 4х рек), в то время как дисперсия стока проанализированных нами рек России вела себя противоположным образом, т.е. уменьшалась.

Коэффициенты автокорреляции стока (рис. 2а), осадков (рис. 2б) и температуры воздуха (рис. 2в) не значимы, однако, в рядах стока (в 6-ти месяцах из 12-ти), осадков (в 8-ми месяцах) и температуры воздуха (в 3-х месяцах) происходит смена знака коэффициента от одного интервала к другому. Изменение дисперсии от одного интервала к другому и смена знака коэффициента автокорреляции, говорит о том, что в режиме процесса происходят серьезные изменения (перестройка), возможно, климатического характера.

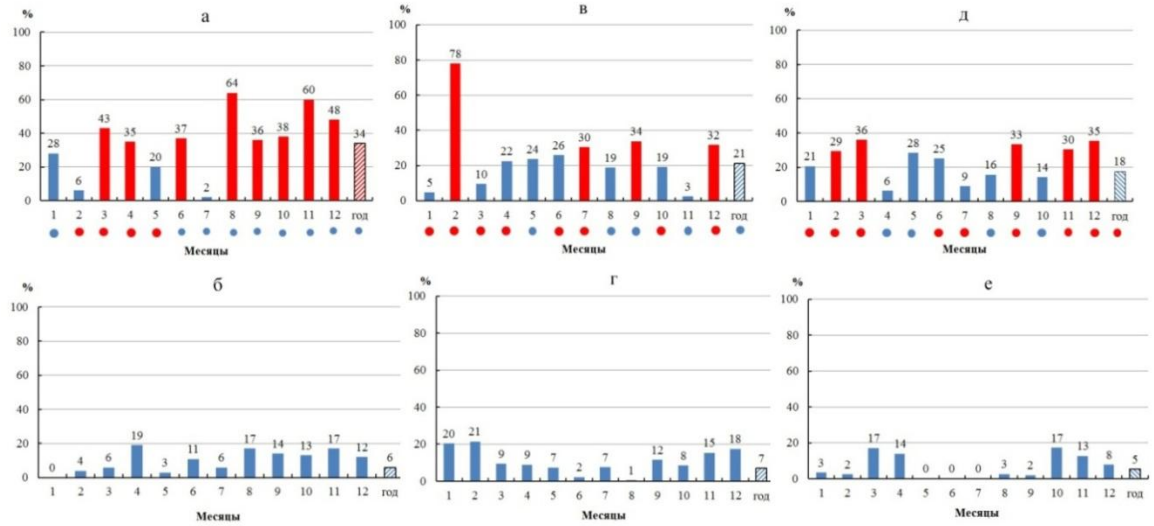


Рис. 1. Отношение среднемесячных и годовых значений дисперсий между I-м и II-м интервалом стока С.Двины (а), осадков (в) и температуры приземного воздуха (д) в бассейне (в %). Отношение математических ожиданий между I-м и II-м интервалом стока С.Двины (б), осадков (г) и температуры приземного воздуха (е) в бассейне (в %). Красный столбик – значения различаются на ≥30%, синий столбик – <30%. Красный круг – дисперсия увеличивается во II-м интервале (1950–2008 гг.), синий круг – дисперсия уменьшается во II-м интервале. Цифра над столбцом – величина процента.

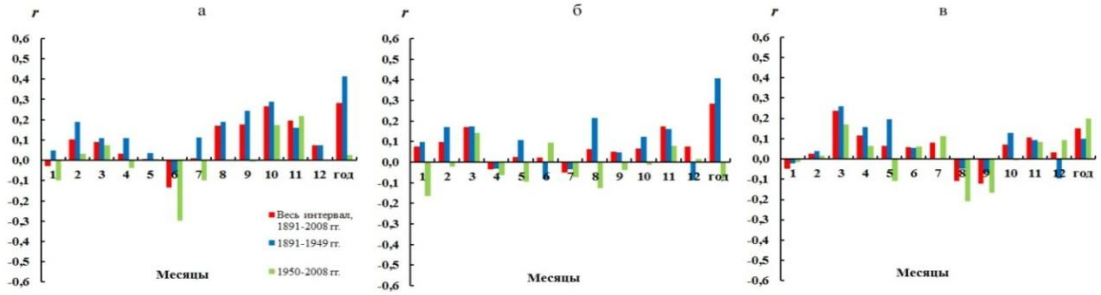


Рис. 2. Автокорреляционная функция в рядах стока р. С.Двина (а), осадков (б) и температуры воздуха (в) в ее бассейне. Красные столбцы – весь период наблюдений

(1891–2008 гг.), синие – I-й интервал (1891–1949 гг.), зеленые – II-й интервал (1950–2008 гг.)

Это находит подтверждение и при анализе совместной корреляции между стоком, осадками и температурой воздуха в бассейне (рис. 3), где отмечается смена знака коэффициента корреляции от одного интервала к другому. Показательны случаи изменения корреляции между стоком и температурой воздуха (рис. 3б) в 3-м и 6-м месяцах, причем, если в 3-м месяце корреляция «усиливается» (по модулю) после 1950 г., то в 6-м это происходит до 1950 г. Похожая ситуация (с резкой сменой знака) встречается и при корреляции между осадками и температурой воздуха (рис. 3в), но практически не встречается при корреляции между стоком и осадками (рис. 3а). Этот вопрос нуждается в дальнейшем изучении.

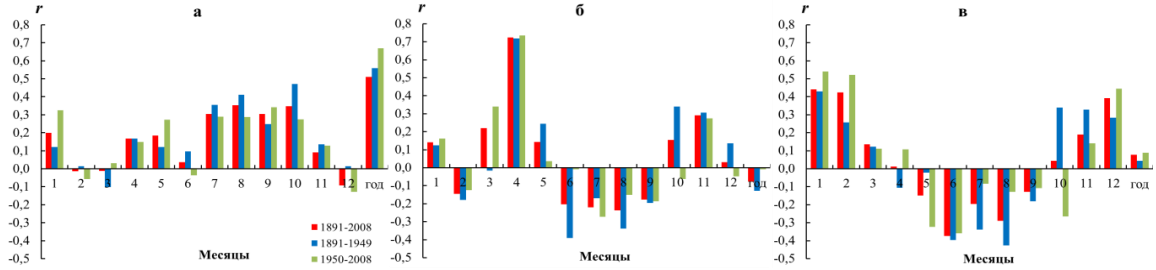


Рис. 3. Корреляция между среднемесячными значениями стока р. С.Двина (а) и осадками в бассейне, стоком и температурой воздуха в бассейне (б), температурой воздуха и осадками (в). Красные столбцы – весь период наблюдений 1891–2008 гг., синие – I-й интервал 1891–1949 гг., зеленые – II-й интервал 1950–2008 гг.

Выводы

В режиме стока С.Двины и составляющих водного баланса, как в многолетнем масштабе, так и в среднемесячных значениях наблюдаются интервалы времени, отличающиеся друг от друга по дисперсии и коэффициенту автокорреляции, но не отличающиеся по математическому ожиданию. В основном, во II-м интервале (1950–2008 гг.) характер изменения стока стал более размеренным по сравнению с I-м интервалом (1891–1949 гг.), когда величины стока носили более неоднородный, «рваный» характер. Температура воздуха и осадки в бассейне ведут себя обратным образом. В рядах стока, осадков и, в меньшей степени, температуры воздуха происходит смена знака коэффициента автокорреляции в отдельные месяцы года. Также отмечено изменение знака коэффициента корреляции между стоком/температурой воздуха в бассейне и осадками/температурой воздуха, что практически не встречается при корреляции между стоком/осадками Вероятнее всего это связано с перестройкой общей циркуляции атмосферы, и мы имеем дело с долгосрочной (климатической) тенденцией в бассейне реки. Возможно, данную ситуацию можно трактовать не как следствие изменения климата в бассейне, а как проявление неких неоднородностей – разнонаправленных изменений климатических характеристик гидрометеопроцессов в течение достаточно длительных интервалов времени – в стоковых и др. рядах на определенных интервалах времени. Поэтому, для диагностики изменений водного режима рек в новых климатических условиях, необходимо выявление неоднородностей не только по средним значениям, но и по дисперсии, коэффициенту автокорреляции. Данный подход дает возможность получить более подробное представление о реакции многолетних колебаний речного стока на климатические изменения в речном бассейне.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ФНИ гос. академий наук, тема № 0147-2018-0001 (№ гос. регистрации АААА-А18-118022090056-0)

Литература

1. Milly P.C.D., Betancourt J., Falkenmark M. et al. On Critiques of «Stationarity is Dead: Whither Water Management?» // Water Resour. Res. 2015. V. 51. P. 7785-7789
2. Chen Y.D., Zhang Q., Xu Ch.-Yu. et al. Multiscale streamflow variations of the Pearl River basin and possible implications for the water resource management within the Pearl River Delta, China // Quaternary International. 2010. V. 226. P 44-53.
3. Birsan M.-V., Molnar P., Burlando P., Pfaundler M. Streamflow trends in Switzerland // Journal of Hydrology. 2005. V. 314. P. 312-329.
4. Добровольский С.Г., Соломонова И.В. О вековых изменениях параметров стационарности колебаний речного стока // Ученые записки РГГМУ. 2018. № 53. С. 123-144.
5. Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Анализ многолетних колебаний стока рек бассейна Северного ледовитого океана // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 6. С.645-652.
6. Соломонова И.В. Статистические неоднородности в рядах годового стока рек // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития» [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург: Химиздат, 2018. С. 594-597.
7. Соломонова И.В., Фролов А.В. Статистические неоднородности в водном балансе крупных рек Архангельской области // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы II Всероссийской научно-практической конференции приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования Иркутского государственного университета. [Электронный ресурс]. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2019 г. С. 241-248.
8. Соломонова И.В., Фролов А.В. Неоднородности в многолетних колебаниях речного стока и основных гидроклиматических процессов в бассейне Северной Двины в условиях изменения климата // Третьи Виноградовские Чтения. Грани гидрологии. Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова [Электронный ресурс]. Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2018. С. 646-650.
9. Фролов А.В., Соломонова И.В. Климатическая неоднородность в многолетних колебаниях водного баланса водосбора р. Северной Двины // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сборник научных трудов: посвящается Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН. Институт водных проблем Российской академии наук, Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр. Новочеркасск: Лик, 2017. С.275-281.

10. Solomonova I.V., Yushkov V.P., Dobrovolski S.G. On the Effect of Intermittent Nonstationarity of Long-Term Changes in the River Runoff // Water Resources. 2018. V. 45, Suppl. 6. P. S99-S109.

КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Травкин В.С.[1], Белоненко Т.В.[1]
[1] Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

KINETIC AND POTENTIAL ENERGY OF THE LOFOTEN BASIN BASED ON SATELLITE DATA

Travkin V.S.[1], Belonenko T.V.[1]
[1] Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

В данной работе рассматривается пространственная и временная изменчивость кинетической и потенциальной энергии в Лофотенской котловине Норвежского моря на основе данных реанализа GLORYS12V1.

This paper examines the spatial and temporal variability of kinetic and potential energy in the Lofoten Basin of the Norwegian Sea based on the GLORYS12V1 reanalysis data.

Введение

Лофотенская котловина, находящаяся в центральной части Норвежского моря, является одной из наиболее энергетически активных зон в Арктическом регионе. Кроме того, данный район характеризуется локальным максимумом уровня и вихревой кинетической энергии, интенсивными потерями тепла в зимний период, а также наличием глубокой зимней конвекции. Также через Лофотенскую котловину проходят теплые и соленые атлантические воды, двигаясь в дальнейшем на север. Одной из особенностей Лофотенской котловины является наличие квазипостоянной внутрипикноклинной антициклонической линзы – Лофотенского вихря с центром в точке 70° с.ш. и 4° в.д. и на глубинах порядка 300−1000 м. Данный вихрь меняет свое положение в течение года, двигаясь по квазициклонической траектории, при этом наблюдается сохранение его положения относительно центра котловины, что обусловлено топографическим захватом. Установлено, что вихрь имеет средний радиус порядка 37 км, а также орбитальную скорость 30 см/с. Кроме того, зафиксировано колебание пространственного положения ядра данного вихря, достигающее значений 130 км [1]. В зимние месяцы происходит подпитка ядра вихря поверхностной водой, проникающей на глубины более 1 км, что приводит к обновлению и последующей регенерации вихря.

Еще одним механизмом, поддерживающим Лофотенский вихрь, является его слияние с мезомасштабными вихрями, которые отрываются от Норвежского склонового течения [2]. Данный процесс способствует увеличению потенциальной и вихревой кинетической энергии, солености и температуры в районе месторасположения Лофотенского вихря, оказывая положительное влияние на его стабильность.

Целью нашей работы является изучение потенциальной и вихревой кинетической энергии и их изменчивости в Лофотенской котловине Норвежского моря по данным реанализа GLORYS12V1.

Материалы и методы

Указанная цель достигается путем использования данных по температуре, солености, а также зональных и меридиональных компонент скоростей за период 2010-2018 гг. массива «GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030»

(https://resources.marine.copernicus.eu/?option=com_csw&task=results?option=com_csw&view=details&product_id=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030).
Данный массив представлен глобальным реанализом на основе спутниковых наблюдений с горизонтальной дискретностью равной 1/12°, временной дискретностью, равной суткам, а также вертикальной дискретностью порядка 50 уровней. Данный массив доступен на портале CMEMS (Copernicus Marine Environment Monitoring Service). Компонентом модели является платформа NEMO, базирующаяся на анализе поверхности океана ECMWF ERA−Interim. Спутниковые наблюдения ассимилируются с помощью фильтра Калмана пониженного порядка. Для наших исследований данный массив был осреднен до еженедельных значений, а также проинтерполирован по глубинам от 0 до 1000 м с шагом, равным 50 м.

Для расчета средней кинетической энергии (MKE) и вихревой кинетической энергии (EKE) использовались следующие формулы:

$$MKE = 0.5(\bar{u}^2 + \bar{v}^2) \quad (1)$$

$$EKE = 0.5\left(\overline{u'^2} + \overline{v'^2}\right)$$

где $\bar{u}$ и $\bar{v}$ – осредненные за 2010-2018 гг. компоненты скорости в каждой точке, u'и v' – аномалии компонент скорости, рассчитанные для каждой точки сетки и в дальнейшем осредненные по времени:

$$u' = u - \bar{u}$$

$$v' = v - \bar{v}$$

Для области месторасположения Лофотенского вихря расчет доступной потенциальной энергии (APE) и EKE производился по следующим формулам:

$$APE = \pi \int_0^R \int_{-H}^0 gz\left[\rho_{ref}(z) - \rho(r,z)\right] r dr dz \quad (2)$$

$$EKE = 0.5\pi \int_0^R \int_{-H}^0 \rho(r,z)\, U(r,z)^2\, r dr dz$$

где H – максимальная глубина (в расчетах 1000 м), ρ_{ref} – средний профиль потенциальной плотности вне области вихря (r > 80 км). Горизонтальное интегрирование проводилось до R = 80 км

Результаты

Максимальные значения EKE, рассчитанные по формуле (1), наблюдаются в районе месторасположения Лофотенского вихря (до 250 $см^2с^{-2}$). Кроме того, увеличение значений кинетической энергии (до 100-130 $см^2с^{-2}$) наблюдается в северо-западной и восточной частях Лофотенской котловины и на континентальном склоне Норвегии. Для остальной части акватории значения EKE не превышают 50 $см^2с^{-2}$.

Для пространственного распределения MKE в целом характерны меньшие значения, по сравнению с EKE. Максимальные значения MKE также зафиксированы в районе расположения антициклонического Лофотенского вихря, но уступают по величине соответствующим значениям EKE. Также наблюдается взаимосвязь между увеличением значений MKE и топографией морского дна, что очевидно связано с особенностями расположения основных струй Норвежского фронтального и склонового течений.

Для Лофотенского вихря характерно преобладание доступной потенциальной энергии над кинетической энергией, которые были рассчитаны по формуле (2). Стоит отметить, что для потенциальной энергии установлен значимый линейный тренд порядка 0.23×10^{15} Дж/год.

Выводы

Используя данные реанализа CLORYS12V1 за период 2010-2018 гг. для Лофотенской котловины были проанализированы такие энергетические характеристики, как APE, KE, EKE, MKE. Полученные результаты свидетельствуют о преобладании в среднем на один порядок APE над KE, а также о наличии для APE статистически значимого положительного линейного тренда.

Для ядра Лофотенского вихря характерны положительные значения и поток энергии от среднего поля MKE в EKE. Подобные положительные значения свидетельствуют об устойчивости вихря и его постоянном пребывании в данном районе. Полученные вертикальные профили свидетельствуют об отрицательных значениях APE в поверхностном слое, а также о наличии резкого скачка от 200 до 700 м. Максимальные значения APE зафиксированы на 700 м, тогда как наибольший вклад в потенциальную энергию вносит промежуточный слой от 600 до 900 м. Для кинетической энергии характерен квазиоднородный слой с максимальными значениями от 0 до 350 м, в дальнейшем энергия медленно уменьшается, ускоряя снижение после 750 м. Таким образом, наибольший вклад в кинетическую энергию в Лофотенской котловине вносит слой от 0 до 400 м.

Разность EKE и MKE свидетельствует о преобладании на большей части Лофотенской котловины, вихревой кинетической энергии, свидетельствующей об активном проникновении на территорию котловины через ее восточную и северную часть мезомасштабных вихрей. Тогда как отрицательные и близкие к нулю значения фиксируются вокруг ядра Лофотенского вихря, в районе континентального склона Норвегии, в южной и западной части Лофотенской котловины, а также вблизи хребта Ян-Майен и плато Воринг.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 18-17-00027).

Литература

1. Белоненко Т.В., Волков Д.Л., Норден Ю.Е., Ожигин В.К.. Циркуляция вод в Лофотенской котловине Норвежского моря //Вестник СПБГУ. Науки о Земле. 2014. Сер. 7. Вып. 2. С. 108-114.
2. Travkin V.S., Belonenko T.V. Seasonal variability of mesoscale eddies of the Lofoten Basin using satellite and model data // Russian Journal of Earth Sciences. – 2019. – 19. – 5. ES5004. doi: 10.2205/2019ES000676

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ СВАЛКИ В ПРИОЗЕРСКОМ РАЙОНЕ

Третьяков А.Р.
Российский государственный гидрометеорологический Университет, Россия, Санкт-Петербург

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF LANDFILL RECLAMATION IN THE PRIOZERSK DISTRICT

A.R. Tretyakov
Russian State Hydrometeorological University, Russia, St. Petersburg

Влияние свалок твердых бытовых отходов на окружающую среду не подлежит сомнению. Проблема размещения и рекультивации отходов сейчас выходит на первые места среди экологических проблем. Данная работа посвящена оценке рекультивации свалки ТБО в Ленинградской области и обзору основных экологических аспектов, которые данная рекультивация затрагивает.

The impact of municipal solid waste landfills on the environment is beyond doubt. The problem of waste disposal and reclamation is now coming to the fore among environmental problems. This work is devoted to an assessment of the reclamation of a solid waste landfill in the Leningrad region and an overview of the main environmental aspects that this reclamation affects.

Свалки твердых бытовых отходов (ТБО) в мелких муниципальных образованиях занимают большие территории высоко бонитетных почв. Они являются потенциально опасными объектами для окружающей среды и здоровья населения. Экономический ущерб, который наносится окружающей среде от мелких свалок ТБО – это практические или возможные потери, а также негативные изменения в окружающей среде, вызванные ее загрязнением и выраженные в денежной форме.

В 2019 году на территории Приозерского района Ленинградской области была проведена рекультивация свалки ТБО. Написанная работа рассматривает причины рекультивации и оценивает ее экологическую значимость.

Данная свалка не была образована стихийно. Её ввели в эксплуатацию в 1996 году, но за годы использования территория свалки разрослась и значительно вышла из установленных границ, заняв значительный участок Призерского лесничества (Рис. 1).

Рис. 1. Обзорная схема района расположения свалки ТБО

Поэтому, согласно постановлению правительства Ленинградской области об «Охране окружающей среды», было принято решение о проведении мероприятий по рекультивации (восстановлению) нарушенных земель.

На данный момент площадь, занятая бывшей свалкой, составляет 3,5 га. Объем накопленных отходов, рассчитанный на основании данных инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий, составляет 307985м^3. На территории свалки отходы перекрыты насыпным суглинистым грунтом с примесью гранитного камня и глыб, а также, в незначительной степени, строительным мусором. Поверхность суглинистых грунтов практически лишена растительности. По склонам свалки, а также в верхней центральной ее части, происходит зарастание травянистой и древесной растительностью.

Результат инженерно-геологических изысканий таков: геологическое строение участка в пределах глубины бурения до 25,0м составляют четвертичные техногенные отложения. Они представлены насыпными грунтами, а именно: песками разнозернистыми коричневыми влажными, супесями со строительным мусором с гравием, галькой. Насыпные грунты неоднородны по составу и свойствам, содержат органику, обладают различной сжимаемостью и свойствами морозного пучения, могут самоуплотняться под действием собственного веса. Почвогрунты свалочных масс представлены в основном глинистыми грунтами, кроме того, содержат камни, стекло, полиэтилен, древесину, пластмассу и железобетон. Твердые бытовые отходы состоят, главным образом, из стекла, пластмассы и полиэтилена, также содержат глинистые грунты, древесину, металлический лом.

Растительные остатки составляют менее 8,5% от общей массы отходов, поэтому выделение биогаза, оказывающего негативное воздействие на атмосферный воздух, будет минимальным. В центральной части свалки концентрация загрязняющих веществ имеет следующие значения:

Таблица 1. Концентрация загрязняющих воздух веществ

Наименование	Концентрация, мг/м3	ПДК, м.р. (мг/м3)
Азота диоксид	0,024	0,2
Аммиак	0,06	0,2
Азота оксид	0,036	0,4

Серы диоксид	0,03	0,5
Сероводород	0,0048	0,008
Углерод оксид	1,82	5,0
Метан	25	50
Бензол (Этилбензол)	0,06	0,3

На основе этих данных был сделан вывод, что на свалке имеет место быть только фоновое загрязнение воздуха.

Так, по результатам мониторинга поверхностных и подземных вод, почвы и атмосферного воздуха, сделан вывод: свалка практически не оказывает влияния на окружающую среду.

Изучив эти данные, было предложено провести рекультивацию земель следующим образом:

1. Выемка всего объёма отходов и транспортировка к месту размещения;
2. Выемка части объема отходов из охранной зоны ВЛ-110кВт с последующей транспортировкой к месту размещения и изоляция свалочных масс от окружающей среды в существующих границах;
3. Выемка части объема отходов из охранной зоны ВЛ-110кВт и с территории лесного фонда с последующей транспортировкой к месту размещения и изоляция свалочных масс от окружающей среды в кадастровых границах участка.
4. Выемка объема отходов, находящихся на земельном участке в кадастровых границах, с последующей транспортировкой к месту размещения

Ниже приведено описание данных методов, рассмотрены их достоинства и недостатки.

Таблица 2. Методы рекультивации свалки ТБО

	Способ рекультивации	Экономический критерий, тыс. руб.	Экологический критерий	Технологический критерий	
				Достоинства	Недостатки
	Полный вывоз	1 002 168,060	Полное устранение источника загрязнения	- Полное устранение источника загрязнения окружающей среды; - Отсутствие сложных технологических процессов.	-Большой объем работ по извлечению, транспортировке и захоронению отходов. Это обуславливает большую стоимость и продолжительность работ по рекультивации
	Рекультивация в существующих границах с вывозом ТБО из охранной зоны ВЛ-110кВт	246 591,578	Полная изоляция отходов от атмосферных осадков	- Простота технологических решений и относительно небольшая стоимость работ; -Достигается изоляция свалочных масс от поверхностных вод и, следовательно, защита окружающей среды от негативного воздействия.	- Отходы остаются на землях лесного фонда; - Необходим перевод земель лесного фонда в категорию земли населенных пунктов.
	Рекультивация в кадастровых границах с удалением ТБО из охранной зоны ВЛ-110кВт и с земель лесного фонда	851 004,646	Полная изоляция отходов от атмосферных осадков, удаление отходов с участка земель	- Полное удаление отходов с участка земель лесного фонда; - Достигается изоляция свалочных масс от поверхностных вод и, следовательно, защита окружающей	- Большой объем работ по извлечению, транспортировке и захоронению отходов. Это обуславливает большую стоимость и продолжительность работ по рекультивации.

			лесного фонда	среды от негативного воздействия.	
	Рекультивация в кадастровых границах с полным удалением ТБО с участка	729 319,704	Полное устранение источника загрязнения на кадастровом участке, удаление части отходов с земель Лесного фонда	- Полное устранение источника загрязнения окружающей среды на кадастровом участке; - Отсутствие сложных технологических процессов.	-Большой объем работ по извлечению, транспортировке и захоронению отходов. Это обуславливает большую стоимость и продолжительность работ по рекультивации; - Отходы остаются на прилегающей территории (земли лесного фонда).

Исходя из особенности геологических и гидрологических условий участка рекультивации, и сравнивая варианты по экологическому, экономическому и технологическому критериям, можно сделать вывод: для данного объекта наиболее приемлемым будет вариант 1 – Полный вывоз отходов.

Проектом предусмотрено выполнение работ в 2 смены по 8 часов, 5 дней в неделю, 22 рабочих дня в месяц. Рекультивация полигона выполняется в два этапа: технический и биологический.

В технологический этап рекультивации входит: разработка свалочных масс, обратная засыпка котлована привозным грунтом и благоустройство территории. Биологический этап рекультивации включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы.

Во время рекультивации свалки, продолжительность которой составит от 2 до 5 лет на ее территории, планируется построить городок для рабочих. Также будет производиться заправка и работа тяжелой техники (самосвалов, экскаваторов). Однако, по результатам исследований, был сделан положительный прогноз – свалка на территории Приозерского района не окажет негативное воздействие на окружающую среду при выполнении всех мероприятий по охране окружающей среды, предусмотренных данным проектом, а также при проведении работ на объекте по рекультивации (восстановлению) нарушенных земель

Выводы. Учитывая воздействие вышеупомянутых факторов на окружающую среду, был выполнен анализ природных условий района намечаемой деятельности.

Источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух будет техника (машины механизмы), используемая при рекультивации объекта. Намечаемая деятельность не будет оказывать негативное воздействие на атмосферный воздух. Степень её воздействия на атмосферный воздух носит временный допустимый характер.

Будущая хозяйственная деятельность не предусматривает необходимость осуществления водоснабжения. Сточные воды в процессе не образуются. При условии осуществления мероприятий по предотвращению и снижению негативного воздействия, степень воздействия на поверхностные и подземные воды носит допустимый характер.

При осуществлении деятельности образуются отходы производства и потребления. Она не будет оказывать негативное воздействие при обращении с отходами производства и потребления. Степень воздействия при обращении с отходами производства и потребления носит допустимый характер.

В связи с тем, что на территории свалки установлено отсутствие развитых почв, деятельность не будет оказывать негативное воздействие на земельные ресурсы. Степень её воздействия на земельные ресурсы носит допустимый характер.

В соответствии с проведенной оценкой воздействия на окружающую среду, можно сделать вывод: при условии осуществления мероприятий по предотвращению и снижению негативного воздействия, а также компенсационных мероприятий, предусмотренных проектной документацией, степень воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности носит допустимый характер

Литература:

1. Елисеева Н.В., Федоренко К.А. Экология и возможная рекультивация свалок тбо (на примере мо белореченский район краснодарского края) [Текст] / Известия Сочинского государственного университета. 2013. № 2 (25). С. 63-68.

2. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления [Текст] / В.И. Сметанин. – М.: «Колос», 2003. – 167 с.

ИМИТАЦИЯ АДАПТАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОЗЕРА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ К БЫСТРОМУ ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

Третьяков В. Ю.,. Дмитриев В. В,. Федорова И. В
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

THE ECOLOGICAL SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE LAKE TO THE RAPID CLIMATE CHANGE

Tretyakov V. Yu., Dmitriev V. V., Fedorova I. V.
St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Обсуждаются результаты оценки влияния на экосистемы арктических озёр возможного изменения климата с помощью компьютерной имитационной модели функционирования водной экосистемы.

There is considered influence of possible climate change at ecosystems of Arctic lakes according to results of computer simulation.

Многие озёра Арктической зоны России имеют важное значение как акватории нереста и нагула ценных промысловых видов ихтиофауны [1]. Поэтому актуальна проблема получения адекватного прогноза результатов адаптаций озёрных экосистем к возможным изменениям климата. Исследование трёх небольших озёр на острове Самойловском в дельте реки Лены в 2009-2012 гг. [2] показали, что период ледостава на них в среднем продолжался 260 суток, их замерзание происходило с 26 сентября по 5 октября при температуре водной толщи 0.1-1.6 °С, освобождение от ледяного покрова - во второй декаде июня. Максимальные температуры наблюдались во второй половине июля, в поверхностных слоях они составляли 13.5-18.3 °С, в придонных - 12.8-17.4 °С. Как видно, летние температуры воды не очень отличаются от летних температур в прохладные годы в озёрах умеренной зоны, например, в озёрах Ленинградской области, Новгородской, Псковской областей. Основное различие заключается в большей продолжительности периода ледостава, и в гораздо меньшей продолжительности периода с относительно высокой температурой воды. Следует заметить, что диатомея мелозира исландская (Melosira islandica) широко распространена в озёрном планктоне умеренной зоны и Арктики. Она обычно присутствует в планктоне Онежского и Ладожского озёр, и реки Невы. Melosira italica также очень широко распространена в фитопланктоне озёр умеренной и арктической зон. Поэтому для моделирования функционирования экосистем арктических озёр допустимо применение имитационных моделей, разработанных для экосистем умеренной зоны.

Для ориентировочной оценки влияния на экосистемы арктических озёр возможного быстрого изменения климата были выполнены численные эксперименты на компьютерной имитационной модели функционирования водной экосистемы «Программа для моделирования антропогенного эвтрофирования и отравления токсикантами водных экосистем» (EVTOX) [3]. Модель представляет собой систему из 103 нелинейных дифференциальных уравнений, решаемую методом Рунге-Кутты. Каждое уравнение рассчитывает временную динамику одного компонента модели. Правая часть каждого уравнения представляет собой алгебраическую сумму интенсивностей отдельных процессов, вызывающих изменение концентрации абиотического или удельной биомассы биотического компонента модели. Компонентами модельного планктона являются несколько групп фито- и зоопланктона, ассоциированные с детритом бактерии. Ихтиофауна в модели представлена молодью

планктоноядных рыб, хищных рыб и рыб бентофагов. Бентос модели состоит из червей олигохет и моллюсков. Абиотические компоненты модели – это планктоногенный детрит, взвешенное минеральное и органическое вещество, взвешенное вещество донного ила, растворённые органические углерод, азот, фосфор, растворённые ионы аммония, нитриты, нитраты, фосфаты, растворённые кислород и углекислый газ. Токсическими компонентами модели являются концентрации токсического загрязняющего вещества в организмах, взвешенной органике и в воде. Модель отражает накопление токсиканта в трофической цепи. Токсикант воздействует на биоценоз путём изменения жизненных процессов и увеличения смертности организмов.

Временным периодом моделирования является один календарный год, с 1 января по 31 декабря. Формализованные процессы подразделяются на: 1) транслокационные – процессы изменения значений компонентов модели из-за обмена веществом между самими компонентами; 2) изменения значений компонентов модели из-за смешивания вод самого водоёма с поступающими в него речными водами, т.е. из-за проточности водоема. В проточном варианте модели изменения значений из-за проточности отсутствуют у компонентов ихтиоценоза и бентоценоза. Модель может имитировать функционирование экосистемы непроточного водоема, в котором отсутствуют как внешний приток, так и сток из него. Пространственно модель может включать один или два слоя воды. В последнем случае модель является двухрезервуарной, в неё добавляются процессы изменения значений компонентов из-за молекулярного и турбулентного обмена между слоями и гравитационного осаждения взвешенных компонентов модели из верхнего слоя в нижний слой. Также модель позволяет имитировать функционирование экосистемы в вариантах без токсического загрязняющего вещества и с его наличием. В последнем варианте добавляются процессы изменения концентраций токсиканта в водной толще и организмах биотических компонентов модели из-за проточности водоёма и транслокационных процессов.

В однослойном варианте модели имитируются следующие процессы в водной толще: биосинтез трех групп фитопланктона, поглощение при этом из воды CO_2, биогенов и выделение O_2; дыхательно-выделительные процессы фито, зоо- и бактериопланктона, ихтиоценоза, включающие деструкцию тканей организмов при обмене веществ, поглощение O_2, выделение CO_2 и экскретов; газообмен с атмосферой; бактериальная деструкция детрита, прирост массы разлагающего детрит бактериопланктона, поступление при этом в воду растворенного органического вещества (РОВ); минерализация РОВ, NH_4 и NO_2, расходование при этом O_2; процессы питания зоопланктона, ихтиофауны и моллюсков; процессы, связанные с дыханием моллюсков и олигохет, потребляющих растворенный кислород из водной толщи и выделяющих в водную толщу продукты метаболизма; отмирание организмов; взмучивание донных илов. В блоке «дно» имитируются процессы питания олигохет, потребления олигохет рыбами, динамики органической фракции донного ила. В двухслойном варианте модели бентос взаимодействует с нижним слоем водной толщи. В варианте модели с воздействием на экосистему токсического загрязняющего вещества (токсиканта) дополнительно имитируются следующие процессы: поступление токсиканта в организмы фитопланктона при биосинтезе; поступление токсиканта при внеклеточном бактериальном гидролизе детрита; изменение содержания токсиканта в организмах из-за выделительных процессов; разложение токсиканта в организмах. Модель также имитирует ассимиляцию токсиканта при питании организмов зоопланктона, ихтиофауны, моллюсков, олигохет; поступление токсиканта в планктоногенный детрит в составе фекалий организмов, отброшенной пищи и отмерших организмов; уменьшение содержания токсиканта в детрите из-за

потребления детрита бактериопланктоном; поступление токсиканта в органическую фракцию донного ила в составе фекалий, отбросов пищи, отмерших организмов, осаждающихся взвешенных компонентов; уменьшение концентрации токсиканта в органической фракции донного ила из-за потребления органики олигохетами, минерализации органики донного ила, ветро-волнового взмучивания донного ила и разложения токсиканта в донном иле. Возможно изменение содержания токсиканта в воде, организмах планктона, планктоногенном детрите, взмученном донном иле, из-за проточности водоема, т.е. перемешивания его вод с поступающими в водоём речными водами.

В базовых численных экспериментах в качестве внутригодовой динамики температуры воды взят обобщённый внутригодовой ход температуры воды в малом арктическом озере Банное-2 острова Самойловского в дельте реки Лены, определённый в результате полевых исследований [4]. При этом антропогенное воздействие на экосистему не имитировалось. Внутригодовой ход фотосинтетически активной солнечной радиации в экспериментах был задан на основании климатических данных метеостанции Норильска о суммах суммарной солнечной радиации (в МДж/м^2) при средних условиях облачности, поскольку широта этой станции (69°20′с.ш. наиболее близка к широте озёр на острове Самойловском - 72°37′ с. ш.) [5]. При этом учтена большая продолжительность полярной ночи по сравнению с широтой Норильска и более северное положение озёр. Разница между широтами Норильска и озёр на о. Самойловском составляет около 3.3 градусов. В Арктике средняя годовая сумма суммарной радиации на 80-й широте и 180° в. д. 2972 МДж/м^2, а на 75-й широте и 170°в. д. – 3055 МДж/м^2 [6]. Поэтому в качестве ориентировочной величины было принято, что с увеличением широты на один градус годовая сумма солнечной радиации уменьшается на 16.6 МДж/м^2. Следовательно, при перемещении с широты Норильска на широту о. Самойловского годовая сумма солнечной радиации должна приблизительно уменьшится на 49.8 МДж/м^2. Годовая сумма солнечной радиации в Норильске равна 2910 МДж/м^2. Поэтому в качестве ориентировочной величины годовой суммы солнечной радиации на о. Самойловском можно принять 2860.2 МДж/м^2, что составляет 0.98 от этой величины в Норильске. Для построения внутригодового хода солнечной радиации в районе о. Самойловского средние суточные значения суммарной солнечной радиации для каждого месяца в Норильске были умножены на этот коэффициент. Полярная ночь в Норильске продолжается 45 суток с 30 ноября по 13 января. На широте острова Самойловский полярная ночь продолжается с 14 ноября по 28 января. Поэтому в январе часть месяца с наличием солнечного сияния уменьшается в 6 раз. В соответствующей пропорции уменьшена сумма солнечной радиации в январе. Принято, что фотосинтетически активная радиация (ФАР) составляет половину суммарной радиации.

В экспериментах приняты следующие морфометрические параметры озера: среднегодовой объём водоёма - 0.1 км^3, коэффициент условного водообмена - 0.1, максимальная глубина водоёма при среднем уровне – 4 метра, форма котловины озера – шаровой сегмент. В эталонном численном эксперименте безлёдный период продолжается с 16 июня по 30 сентября, средняя толщина льда – 1 м. За последние 30 лет повышение температуры воздуха составляет в среднем на Европейском Севере – 0.02-0.03 градусов Цельсия в год, на севере Западной Сибири – 0.03-0.07 градусов в год, на севере Якутии – 0.01-0.07 градусов в год [7]. Вероятно, повышение температуры воды в арктических озёрах не превышает этих темпов. Поэтому в эксперименте с имитацией потепления климата температура воды в безлёдный период увеличена на 1 градус, что соответствует увеличению температуры со скоростью 0.07 градусов Цельсия в год за 14 лет.

Также были выполнены ещё 2 эксперимента с имитацией потепления климата: с увеличением периода открытой воды на 20 суток – исчезновение ледяного покрова на 10 суток раньше, ледостав на 10 суток позже без изменения динамики температуры воды по сравнению с эталонным вариантом; комбинация увеличения продолжительности безлёдного периода с повышением температуры воды в течение этого периода на 1 градус Цельсия.

Для оценки степени изменения параметров функционирования экосистемы использована модификация критерия Нэша-Сатклиффа. Критерий Нэша-Сатклиффа используется для оценки моделей прогнозирования уровней или расходов рек. Для оценки различий между поведением имитационной компьютерной модели в двух численных экспериментах применялась модификация критерия:

$$M = \frac{\sum_i (Y_{1i} - Y_{2i})^2}{\sum_i (Y_{1i} - Y_{av})^2} * 100 \quad (1)$$

Здесь Y_{1i} и Y_{2i} обозначают значения компонента модели в сравниваемых экспериментах в одни и те же сутки с номером “i”, Y_{av} – среднее годовое значение компонента в одном из этих экспериментах. Номер “i” имеет все целые значения между 1 и 365. При сравнении результатов моделирования и данных мониторинга символ Y_{av} в формуле 1 обозначает среднее годовое значение измеряемого параметра. Однако результаты двух численных экспериментов абсолютно равноправны. Поэтому мы дважды рассчитываем значение модификации критерия Нэша-Сатклиффа. В первом случае в знаменателе рассчитываются разности между значениями компонента в одном эксперименте и средним значением этого компонента в этом же эксперименте. В другом случае знаменатель рассчитывается по значениям, полученным в другом численном эксперименте сравниваемой пары результатов экспериментов. Для анализа используется среднее по двум значениям модифицированного критерия, рассчитанным в первом и втором случаях.

Значение модмфицированного критерия, меньшее 10% показывает крайне незначительное различие поведения модели в двух сравниваемых численных экспериментах в соответствии с динамикой по данного компонента. Диапазон 10-20% указывает на небольшое различие поведения модели в двух сравниваемых экспериментах, которое не может доказать существенные измения в функционировании модели экосистемы. Значения, большие 20% доказывают наличие таких кардинальных изменений.

По результатам численных экспериментов рассчитаны значения модификации критерия Нэша-Сатклиффа для сравнения динамики биомассы диатомовых водорослей и интнсивности первичного биосинтеза диатомовых водорослей в эталонном численном эксперименте и экспериментах с имитацией климатических изменений. В таблице 1 представлены результаты расчётов модифицированного критерия Нэша-Сатклиффа. Символ «Т+1» обозначает сравнение этлонного численного эксперимента с экспериментом с увеличением температуры воды на 1 градус Цельсия в безлёдный период, «Лёд» – увеличение безлёдного периода на 20 суток, «Лёд_Т+1» – увеличение безлёдного периода на 20 суток с одновременным увеличением температуры воды на 1 градус Цельсия.

Таблица 1. Значения (в %) модифицированного критерия Нэша-Сатклиффа для сравнения «эталонного» эксперимента с экспериментами по имитации изменений климата.

Сравнение	Динамика биомассы диатомовых водорослей	Динамика интенсивности первичного биосинтеза диатомовых водорослей

T+1	2.5	8.0
Лёд	6.5	29.3
Лёд_T+1	13.2	39.4

Можно сделать вывод, что изменение сроков периода открытой воды повлияет на функционирование экосистемы сильнее, чем увеличение температуры водной толщи. При этом существенные изменения в функционировании экосистемы произойдут при одновременном увеличении температуры водной толщи и увеличении продолжительности безлёдного периода.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-05-60291 Арктика «Адаптация арктических лимносистем к быстрому изменению климата».

Литература

1. Стишов М.С. Особо охраняемые природные территории Российской Арктики: современное состояние и перспективы развития. Россия, изд-во «Скорость цвета», 2013.
2. Здоровеннова Г.Э., Федорова И.В. Термический режим малых арктических озер // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 12-8. – С. 1452-1456; URL: https://applied-research.ru/ru/article/view?id=8172.
3. Tretyakov V., Dmitriev V., Sergeev Yu., Kulesh V. Monitoring of an aquatic ecosystem ecological status and assessment of its resistance to anthropogenic impacts by results of simulation \\ В сборнике: 19th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2019 Conference proceedings. 2019. P. 485-492, https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42460211
4. Здоровеннова Г.Э., Шадрина А.А., Федорова И.В. Моделирование термического режима малых арктических озер // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 1. – С. 111-115; URL: http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35752
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Части 1-6. Многолетние данные. Выпуск 21. Красноярский край, Тувинская АССР. Книга 1. Ленинград. Гидрометеоиздат. 1990. 624 с.
6. Маршунова М.С., Мишин А.А. Справочник по радиационному режиму Арктического бассейна (дрейфующие станции). Под ред. А.Ф. Радионова. Санкт-Петербург, Гидрометеоиздат, 1994. 66 с.
7. Лисниченко В.В., Лисниченко Н.Б. Проблемы обеспечения безопасности жизнедеятельности коренных народов Севера в условиях изменения климата \\ Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: сб. тезисов Всероссийской конференции с международным участием \ сост. С.В. Рябченко; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИД САФУ, 2014. – 199 с. С. 151-153.

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ УРОВНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ МАЛЫХ РЕК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Урусова Е.С.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия.

EXTREME LEVELS OF SMALL RIVERS POLLUTION IN URBAN ARIAS

Urusova E.S.
Russian State Hydrometeorological University, Saint-Petersburg, Russia.

Аннотация. Представлена оценка экстремальных уровней загрязненности рек урбанизированных территорий на примере реки Ижора. Приводится алгоритм оценки рядов наблюдений для выявления в них экстремальных значений.

Annotation. An assessment of extreme levels of pollution of rivers in urban areas is presented on the example of the Izhora river. An algorithm for evaluating the series of observations to identify extreme values in them is shown.

Введение.

Спектр геоэкологических проблем больших городов и промышленных зон, требующих своевременного решения, достаточно широк. Важным аспектом является загрязнение поверхностных вод за счет сброса загрязненных сточных вод и смыва загрязняющих веществ с урбанизированных территорий. [1] Особенно сильно при этом страдают малые реки: в результате загрязнения происходят количественные и качественные изменения в экологических системах. [2, 3] Малые реки Санкт-Петербурга испытывают высокую антропогенную нагрузку. В результате воды рек Охта и Ижора характеризуются как «грязные», воды реки Славянка как «загрязненные» и «очень загрязненные». [4]

Исследования по определению антропогенной нагрузки на водные объекты во многом опираются на данные гидрохимических наблюдений. В большинстве случаев для характеристики экологического состояния рек и водоёмов используются осредненные за некий период концентрации содержащихся в воде веществ, например среднегодовые значения. В частности по этим данным обычно рассчитывается годовой сток содержащихся в воде веществ, поступающих в реки и водоемы. [5, 6]. Существующие в настоящее время методы оценки загрязненности рек не всегда учитывают основные особенности гидрохимических наблюдений. В частности из исходных рядов не исключаются экстремальные значения концентраций [7].

Материалы и методы.

Оценка экстремальных уровней загрязненности водных объектов является важнейшим разделом в оценке общего состояния водотока. Именно изучение и анализ генезиса экстремальных значений концентраций в исходных рядах наблюдений позволяет оценить истинную загрязненность водотока в условиях постоянного антропогенного воздействия. Кроме того, экстремальные значения концентраций, или так называемые выбросы, играют важную роль в оценке экологического риска.

В общем, режим загрязненности водного объекта складывается из трёх групп факторов [7, 8]:

1. Регулярное и постоянное воздействие человеческой деятельности.
2. Аварийные сбросы загрязняющих веществ.
3. Неблагоприятные гидрометеорологические явления.

Первая группа факторов определяет общий режим загрязнения водного объекта, а факторы 2 и 3 группы часто определяют появление в исходных рядах наблюдений экстремальных значений или т.н. выбросов. Таким образом, можно с достаточной степенью уверенности утверждать, что ряды наблюдений при исключении выбросов описывают процесс загрязнения речного стока при регулярном и постоянном антропогенном воздействии, когда все предприятия-водопользователи в бассейне рассматриваемой реки работают по заданному графику в нормальном режиме. В свою очередь выбросы, скорее всего, отражают поступление загрязняющих веществ в каких-то экстремальных условиях, чаще всего связанных с аварийными сбросами предприятий или стоком веществ с территории речного бассейна в экстремальных гидрометеорологических условиях. Продолжительность таких аварийных сбросов, как правило, незначительна, поэтому включение их в расчеты среднегодовых и средних многолетних концентраций наряду с основными данными, не правомерно. [5, 7, 8]

Для оценки выбросов в исходных рядах наблюдений целесообразно использовать комплексную методику состоящую из предварительной визуальной оценки эмпирических и теоретических кривых обеспеченности и оценки выбросов по критерию Диксона. Проведенные ранее исследования показали, что наиболее подходящим для описания гидрохимических рядов наблюдения является закон Пирсона III типа [8, 9]. В качестве основного расчетного метода использовался критерий Диксона. Выбор был связан с тем, что при оценке выбросов по критерию Диксона учитывается высокая степень асимметричности ряда, что характерно для гидрохимических рядов. Однако, критерий Диксона имеет существенное ограничение: количество выбросов в исследуемом ряду должно быть не больше двух. При большем количестве выбросов критерий может дать существенные погрешности. Это ограничение можно легко обойти, исключая из ряда уже выявленный выброс и исследуя оставшуюся часть выборки. В таком случае необходимо оценить значение коэффициента асимметрии (*Cs*) оставшейся части выборки.

В работе в качестве объекта исследования были выбрана река Ижора в черте города Санкт-Петербурга. Был рассмотрен один пункт наблюдений с двумя створами, расположенный в районе города Колпино. Были проанализированы исходные ряды наблюдений за концентрациями растворенного кислорода, азота общего, азота аммонийного, фосфора общего и фосфора фосфатов, нефтепродуктов, фенолов, марганца, алюминия, железа, меди и цинка, а также за показателями ХПК и $БПК_5$. В частности, на первом этапе были рассчитаны и проанализированы основные числовые характеристики рядов наблюдений (математическое ожидание, коэффициент вариации и коэффициент асимметрии). Далее, были построены эмпирические и теоретические кривые распределения и проведен визуальный анализ на предмет наличия выбросов в исходных рядах. На последнем этапе проводилась оценка предполагаемых выбросов по критерию Диксона.

Результаты и выводы.

Оценка числовых характеристик рядов гидрохимических наблюдений для реки Ижора показала, что для них характерны все те же особенности, что и для гидрохимических рядов наблюдений по другим малым и средним рекам [10]. Так, в большинстве случаев, ряды концентраций имеют достаточно высокие значения коэффициентов вариации и асимметрии (Таблица 1). Обращают на себя внимание высокие значения коэффициентов корреляции при сравнении двух соседних створов. Например для фенолов значение *Cs* в контрольном створе практически в 2 раза выше, чем в фоновом. При этом среднее значение и коэффициент вариации отличаются менее существенно. Аналогичная картина характерна и для рядов концентраций алюминия и

цинка. Подобные результаты могут указывать на наличие в рядах наблюдений выбросов [8].

Таблица 1. Числовые характеристики и количество выбросов для рядов гидрохимических наблюдений, р. Ижора.

Характеристика	ХПК	Фенол	Фосфор общий	Al	Zn
фоновый створ					
исходные ряды данных					
mx	33,1	0,0003	0,87	0,168	0,021
Cv	0,57	2,12	1,36	2,27	2,27
Cs	1,05	2,73	2,77	5,18	4,10
после исключения выбросов					
mx	31,2			0,105	0,010
Cv	0,49			0,81	0,61
Cs	0,16			2,79	0,66
количество выбросов	1	-	-	1	2
контрольный створ					
исходные ряды данных					
mx	33,6	0,0002	0,837	0,111	0,011
Cv	0,56	3,10	1,11	0,74	0,66
Cs	1,73	4,40	3,30	2,06	2,10
после исключения выбросов					
mx	31,4	0,0001	0,586		0,010
Cv	0,44	2,38	0,42		0,51
Cs	0,28	2,20	0,81		0,56
количество выбросов	1	1	3	-	1

При визуальной оценке в рядах наблюдения за концентрациями фенола, алюминия, цинка, фосфора общего и показателя ХПК было обнаружено от 1 до 3 «выбросов». Выбросом называют экстремальное значение ряда, не характерное для данной выборки [7, 8, 9]. Далее предполагаемые выбросы были проверены с помощью критерия Диксона. В результате практически все предполагаемые на основе визуального анализа выбросы были подтверждены в результате расчетов по критерию Диксона. Исключение составили два значения концентрации алюминия в контрольном створе: по результатам проверки рассчитанное значение критерия Диксона оказалось меньше критического. Следовательно, эти значения выбросами не являются. Количество выявленных выбросов в отдельных рядах наблюдения представлены в таблице 1.

После исключения выбросов также была проведена оценка основных числовых характеристик (таблица 1). Из полученных данных видно, что после исключения выбросов значения коэффициентов вариации и асимметрии снижаются. При этом, в ситуации когда характеристики отличались в соседних створах до исключения

выбросов, после исключения выбросов в одном из рядов их значения стали близки. Такая картина видна, например, для рядов концентраций алюминия и фенола.

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что при выявлении экстремальных значений в рядах гидрохимических наблюдений на малых реках урбанизированных территорий использование метода визуального анализа и критерия Диксона является достаточно эффективным.

Литература

1. *Алексеев Д.К., Зуева Н.В., Розенкова И.В., Урусова Е.С., Шелутко В.А.* Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: новые горизонты. Метеорологический вестник. 2017. Т. 9. № 2. С. 1-8.
2. *Фураева Д.И., Урусова Е.С.* Оценка загрязненности реки Охта в летний период. Метеорологический вестник. 2017. Т. 9. № 1. С. 52-60.
3. *Зуева Н.В., Примак Е.А., Урусова Е.С., Зуев Ю.А., Бабин А.В.* Оценка экологического благополучия малых рек Ленинградской области. В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 374-375.
4. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2019 году. Режим доступа: https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2020/08/07/57/doklad_2019.pdf
5. *Шелутко В.А., Урусова Е.С.* Теоретические основы и методика оценки экстремального уровня загрязнения речных вод В сборнике: Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. Сборник трудов конференции. 2013. С. 113-118.
6. *Козлова А.В., Зуева Н.В.* Оценка качества вод верховьев реки Оредеж по гидрохимическим и токсикологическим показателям (2016-2017 гг.) В сборнике: Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития. Труды III Всероссийской конференции. 2019. С. 461-462.
7. *Шелутко В.А.* Оценка экстремальных уровней химического загрязнения речной сети урбанизированной территории. В сборнике: VI Всероссийский гидрологический съезд. 2006. С. 114-120.
8. *Шелутко В.А., Макарова М.А.* Вопросы учета выбросов при оценке стока загрязняющих веществ. В сборнике: Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению. Санкт-Петербургский государственный университет. Санкт-Петербург, 2020. С. 548-553.
9. *Нассер Отман М.О.* Комплексная оценка поступления биогенных веществ с водосбора по длине реки Великая. Диссертация на соискание уч. степени канд. географических наук, СПб, 2014, 135 с.
10. *Урусова Е.С.* Вопросы применения методов статистической обработки данных гидрохимических наблюдений. Метеорологический вестник. 2017. Т. 9. № 2. С. 216-220.

АНАЛИЗ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОВИХРЕЙ В АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ

Федосеева Н.В., Лопуха В.О.
Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

ANALYSIS OF THE POLAR MESOSCALE STORM TRACKS OVER THE BARENTS SEA WITH SATELLITE IMAGERY

Fedoseeva N.V., Lopukha V.O.
Russian state hydrometeorological university, Saint Petersburg, Russia

На основании анализа данных ежедневной съёмки, выполняемой с помощью датчика MODIS, установленного на борту спутников Aqua и Terra, был сформирован архив случаев формирования полярных мезовихрей за период с 2015 по 2019 гг., прослежена их эволюция и построены траектории.

Based on daily MODIS/Terra. Aqua imagery, the polar cyclones database since 2015 became available. In the course of the work, the arctic hurricanes development was deconstructed, and the storm tracks were plotted on the map.

Акватория Северо-Европейского бассейна наиболее активная и изученная область появления мезомасштабных полярных циклонов в Северном полушарии. Эта область благоприятна для формирования полярных циклонов ввиду значительной разницы температур в приводном слое. Такая разница усилена теплым атлантическим течением на севере и массивом дрейфовых льдов. Полярные циклоны над морями восточной части Арктики менее изучены, чем над западной её частью [1].

Размер полярных циклонов варьируется от 100 до 1000 км, т.е. их размер весьма незначителен в сравнении с внетропическими циклонами. Мезомасштабные циклоны из-за малого размера трудно обнаружить в поле давления.

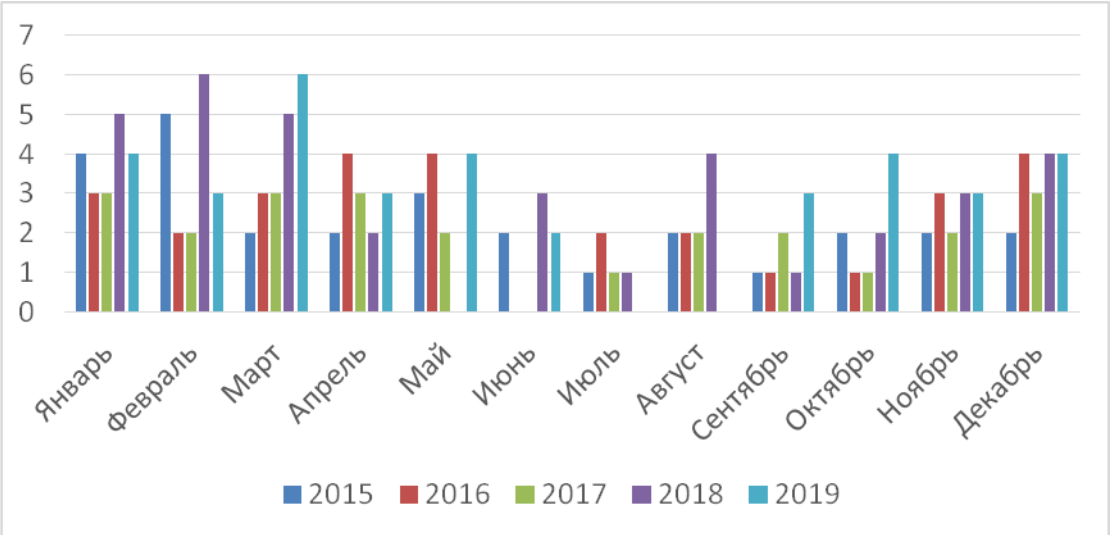
Для мезомасштабных полярных циклонов характерен короткий срок жизни, относительно крупномасштабных циклонов. В среднем от нескольких часов до 3 суток, дольше они могут существовать при малоподвижности и нахождении над водной поверхностью.

Проявляемый интерес к полярным циклонам вызван в первую очередь в связи с внезапным и резким ухудшением погоды в зоне их образования и возможным участием этих мезовихрей в формировании глубинных водных масс в районах частого мезомасштабного циклогенеза. Осадки и облачность по горизонтали распространяются на 150-250 км, по вертикали до 3 км. Такие мезомасштабные возмущения не имеют экстремальных высот из-за своих малых размеров и короткого времени существования. Для нижних слоев полярных циклонов характерна неустойчивая термическая стратификация, вызванная перемещением холодного воздуха на относительно теплую подстилающую поверхность [2,3].

В ходе выполнения работы были рассмотрены полярные мезовихри в акватории Баренцева моря за 2015-2019 гг. В качестве исходных данных использованы спутниковые снимки первого уровня обработки, полученные при помощи спутников Aqua и Terra со сканирующим радиометром MODIS на борту. Интенсификация полярных мезовихрей за 2018-2019 годы подтверждает гипотезу о влиянии таяния арктических льдов на увеличение количества случаев возникновения мезомасштабных вихрей в акватории морей русской Арктики. Анализ годового хода повторяемости

полярных мезовихрей показал, что месяц их наиболее активного зарождения – декабрь (Таблица 1).

Таблица 1. Диаграмма повторяемости формирования полярных мезовихрей.



В данной работе также были построены траектории перемещения и проанализирована эволюция полярных мезоциклонов за период 2015-2019 гг. Кроме уже ранее упомянутой интенсификации мезовихрей за последние два года, стоит отметить некоторые общие тенденции их перемещения. Детальный подход к построению траекторий, благодаря высокому временному разрешению спутниковой съемки позволил выявить, что лишь часть полярных мезовихрей, наблюдаемых в этот период, была стационарна. Например, в 2019 году 10 полярных мезовихрей имели сложную траекторию перемещения, 7 из них смещались к центру Баренцева моря, в трех случаях был зафиксирован выход полярного мезовихря на побережье (дважды в районе Мурманска и один раз на побережье острова Южный) (Рис.1).

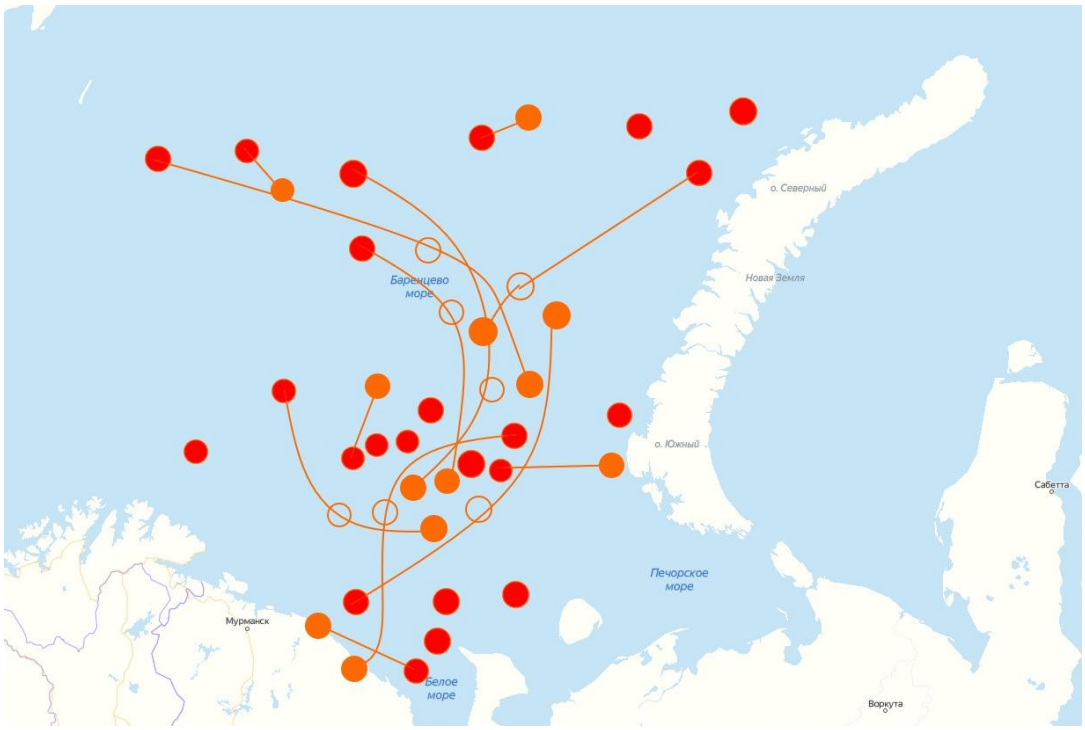


Рис. 1. Траектории перемещений полярных мезовихрей, 2019 год. Красный символ– район зарождения, оранжевый символ– район заполнения.

Следует также отметить 2017 и 2018 годы, когда превалирующая часть зафиксированных случаев продемонстрировала стационарность облачного вихря, тогда как в 2015 и 2016 годах все зафиксированные мезовихри активно перемещались. Для траекторий перемещения полярных мезовихрей в 2019 году были характерны обе отмеченные ранее тенденции.

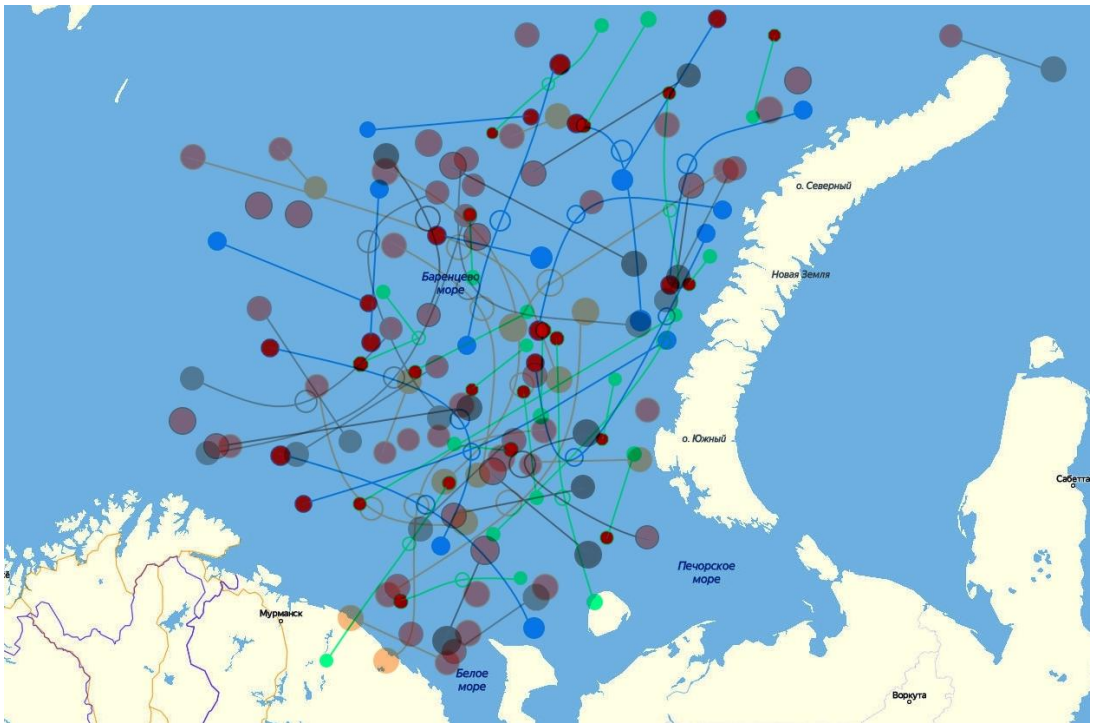


Рис. 2. Траектории перемещений полярных мезовихрей, 2015-2019 гг.

Литература

1. Rasmussen, Erik A., and John Turner: Polar Lows: Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, Cambridge University Press, 2003. 412 p
2. Заболотских Е. В., Гурвич И. А., Шапрон Б. Новые районы распространения полярных циклонов в Арктике как результат сокращения площади ледового покрова.: РГГМУ. Исследование Земли из космоса - дистанционные исследования атмосферных процессов в Арктике, 2015, № 2, с. 64–77
3. Федосеева Н.В., Ефимова Ю.В., Лопуха В.О. Использование данных спутниковой мультиспектральной съемки при анализе облачных систем полярных циклонов: ИГУ // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 2018, с. 615-624.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В РОССИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА

Фролов Д.М.
Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

MODERN VARIATIONS OF CLIMATE IN RUSSIA AND THEIR INFLUENCE ON GROUND FREEZING DEPTH VARIATIONS

Frolov D.M.
Geographical faculty of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Согласно данным о недавнем изменении климата в работе рассмотрено влияние на изменение глубины сезонного талого слоя на основе разработанной модели.

According to the data on the recent climate change in the work the influence on the ground seasonally thawed layer according to developed model is considered.

Согласно данным Росгидромета, прошлая зима 2019/2020 года на территории России была очень теплой, а весна наступила на месяц раньше. За первые четыре месяца 2020 года температура в регионах Сибири превышала на 5-10 градусов те значения, которые были в те же месяцы последние 10 лет. Летние температуры в Северном полушарии в 2020 году превышали норму на 3-5 градусов, причём самые заметные превышения температуры были в Арктике.

Так, изменение усреднённой среднегодовой температуры воздуха на планете отображено на рисунке 1:

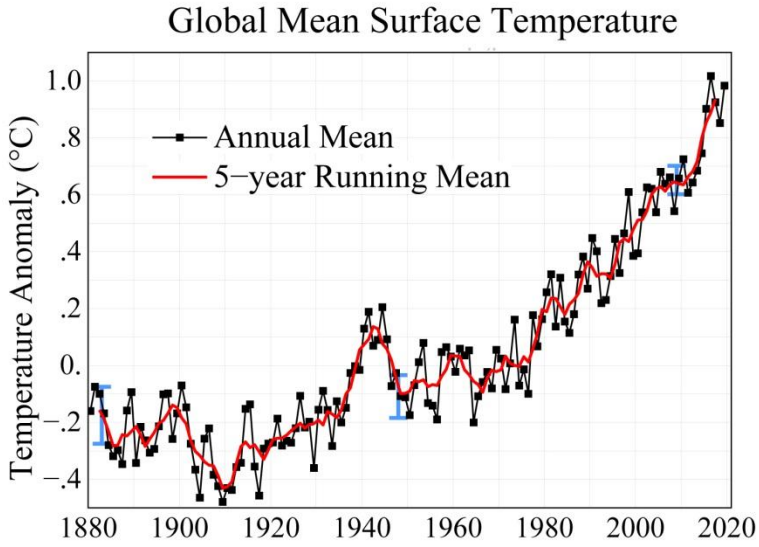


Рис. 1. Аномалии среднегодовой температуры воздуха на планете [1].

Аномалии температуры воздуха в первые месяцы 2020 года на территории Северного полушария с ясно заметной положительной аномалией на территории Северной Евразии и Сибири отображены на рисунке 2:

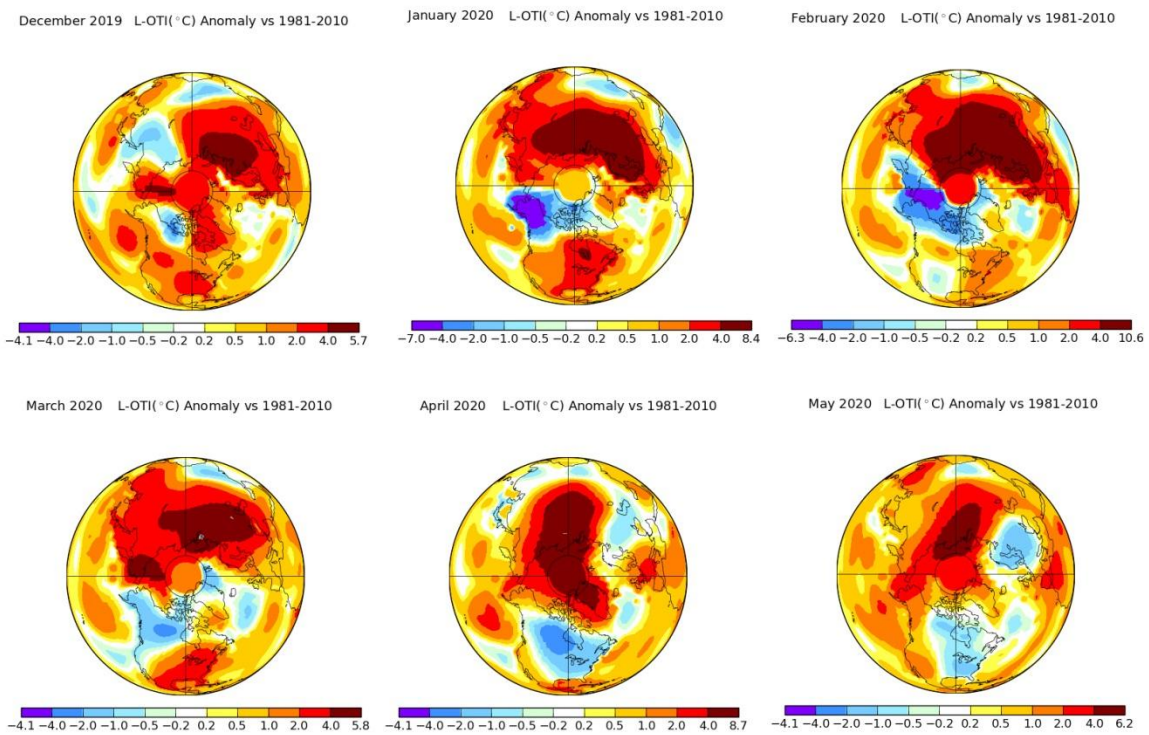


Рис. 2. Аномалии температуры воздуха в Северном полушарии в конце 2019 и первой половине 2020 года относительно средних многолетних значений за 1981-2010 гг. [1].

Рост толщины деятельного слоя в последние годы на территории Сибири и аномально тёплый зимне-весенний период 2020 года привел, например, к экологической катастрофе в конце мая 2020 года, связанной с протаиванием фундамента и разрушением резервуара с нефтью вблизи Норильска и попаданием нефтепродуктов в реку.

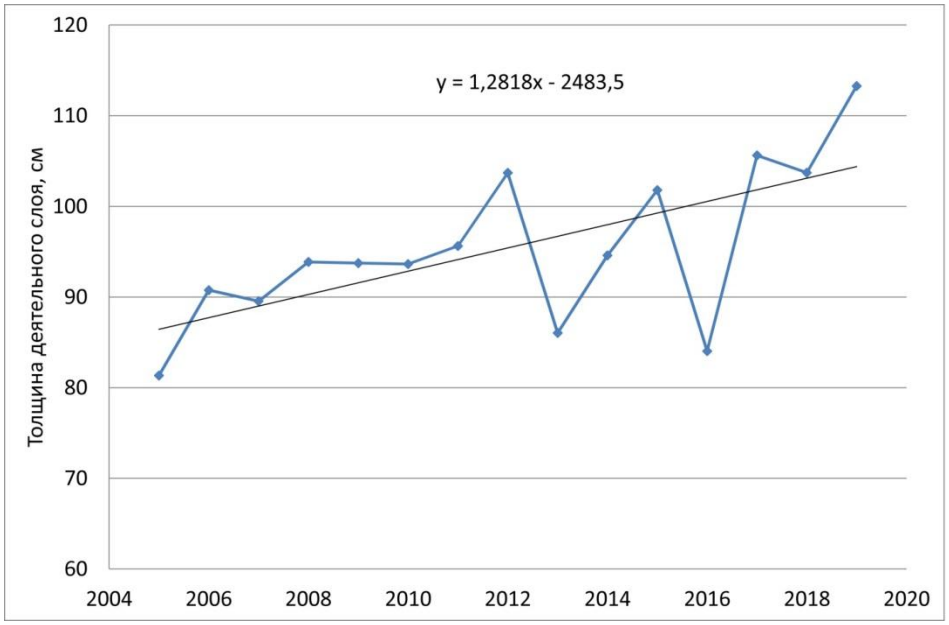


Рис. 3. Изменение максимальной толщины деятельного слоя на наблюдательной площадке CALM (Талнах) вблизи Норильска [2].

Согласно произведённым наблюдениям и расчётам, грунты в Арктике и Субарктике стали таять в 2020 году на 30 процентов сильнее из-за теплой зимы.

Расчёты толщины сезонно талого слоя производились по расчётной схеме для скорости движения фронта оттаивания. Схема учитывает оттаивание грунта сверху на массиве мёрзлого грунта в летний период на основе данных о ежедневной температуре воздуха. Уравнение теплового баланса записывалось как:
$F_1 = cLV = c\ L\ dh_{th}/d\tau$
или как:
$dh_{th}/d\tau = V = F_1/cL$, где:

F_1 - приток тепла через талый грунт к фронту оттаивания (Вт/м^2) из атмосферы;
c – влагосодержание грунта (кг/м^3), L - энергия фазового перехода воды (335 кДж/кг);
$V = dh_{th}/d\tau$ - скорость движения фронта оттаивания (м/с);
$c\ L\ V = c\ L\ dh_{th}/d\tau$ - расход тепла на фазовый переход;

Тепловой поток к фронту оттаивания через талый грунт в атмосферу выражается согласно закону Фурье через теплопроводность и тепловой поток согласно данным справочника [3] как:

$$F_1 = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x} = \lambda_{th} \frac{T_{возд}}{h_{th}}$$

Здесь $T_{возд}$ – температура воздуха, h_{th} – толщина талого грунта, а λ_{th} – теплопроводность талого грунта, принятая равной 1,4 Вт/м °С [4].

Строилась разностная схема посредством аппроксимации выведенного дифференциального уравнения первого порядка по времени для изменения толщины талого слоя явным методом Эйлера: $h_{th}(t_{n+1}) = h_{th}(t_n) + \Delta t\ V(t_n)$. По полученной разностной схеме производятся расчёты изменения толщины талого слоя и сравнение полученных результатов расчётов с данными фактических наблюдений.

Работа выполнена по ГЗ АААА-А16-116032810093-2 по теме 1.7 «Картографирование, моделирование и оценка риска опасных природных процессов».

Литература

1. https://data.giss.nasa.gov/gistemp/
2. https://www2.gwu.edu/~calm/data/north.htm
3. Михеев М.А. Основы теплопередачи. Изд. 2-е / М.А. Михеев, И.М. Михеева. М., Энергия, 1977, 344 с.
4. Грунтоведение. Под ред. В.Т. Трофимов. — М.: Изд-во МГУ, Наука, 2005, 1024 с. 131

ОЦЕНКА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮГЕ ОСТРОВА САХАЛИН

Харыбина А.С., Юмашева А.К., Малышонок А.М.
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

ASSESSMENT OF NATURAL HAZARDS AND PHENOMENA TO ENSURE THE SAFETY OF OIL AND GAS FACILITIES IN THE SOUTH OF SAKHALIN ISLAND

Kharybina A.S., Yumasheva A.K., Malyshonok A.M.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia

В работе подробно рассмотрены геологические, тектонические, климатические и другие особенности южного побережья острова Сахалин, обуславливающие проявление здесь опасных природных процессов и явлений, способных повлиять на деятельность объектов нефтегазового комплекса. Выявлены такие негативные геологические процессы, как сейсмическая активность, экзогенные процессы (абразия, береговая эрозия, оползни и оплывины). Среди гидрометеорологических явлений выделены прижимной (навальный) ветер, ледовая обстановка, цунами.

The paper describes in detail the geological, tectonic, climatic and other features of the southern coast of Sakhalin island, causing the manifestation of dangerous natural processes and phenomena that can affect the activities of oil and gas facilities. Negative geological processes such as seismic activity and exogenous processes (abrasion, coastal erosion, landslides and landslides) have been identified. Among the hydrometeorological phenomena, there are downwind (bulk) wind, ice conditions, and tsunamis.

Нефтегазовая компания «Сахалин Энерджи» ведет разработку Лунского и Пильтун-Астохского месторождений, расположенных на северо-восточном шельфе острова Сахалин. Пройдя первичную обработку на объединенном береговом технологическом комплексе, углеводороды по транссахалинской трубопроводной системе поступают на производственный комплекс (ПК) «Пригородное». Здесь происходит сжижение природного газа (СПГ), смешивание нефти и газового конденсата, а затем – передача готовой продукции потребителю.

Для визуализации и оценки рисков добычи, производства и транспортировки углеводородов в компании «Сахалин Энерджи» используется метод построения диаграммы Bow-Tie. (рисунок 1)

Рис. 1. Диаграмма Bow-Tie для ПК «Пригородное»

Диаграмма Bow-Tie, в дословном переводе «галстук-бабочка», служит для идентификации и оценки рисков с применением графического отображения связей между опасностями, угрозами, элементами управления, рисковым событием, мерами по снижению последствий и последствиями. Левая часть диаграммы показывает инициирующий фактор нежелательного события, узел – само рисковое событие, правая часть означает его последствие. Барьер безопасности – это мера по управлению рисками, нацеленная на предупреждение опасного события, прекращения эскалации опасного события и уменьшение тяжести последствий. [1]

ПК «Пригородное» расположен в менее суровых условиях, чем добывающие платформы, принадлежащие компании. Но тем не менее для юга Сахалина характерны опасные природные процессы, связанные с климатическими и тектоническими особенностями острова.

Геоэкологические опасности, к которым относятся сейсмическая активность, экзогенные процессы (абразия, береговая эрозия, оползни и оплывины), прижимной (навальный) ветер, ледовый режим в заливе, цунами, а также последствия этих явлений и барьеры безопасности графически изображены на диаграмме Bow-Tie, представленной на рисунке 1.

Экзогенные процессы. Основными процессами, развитие которых выявлено на территории ПК «Пригородное», являются: осыпеобразование; абразия (разрушение основания склонов); оползнеобразование; ручейковая эрозия. [2]

Пораженность склонов негативными экзогенными процессами составляет 50-70%. Значение береговой эрозии оценивается в 1 м каждые 30-35 лет. При выборе участка для завода СПГ и терминала отгрузки нефти была сделана поправка на эрозию, поэтому объекты расположены на расстоянии 80 м от берега. [2] Основными факторами, способствующими развитию оплознеобразования на склоне, обращенном к морскому побережью залива Анива, являются:

1. Развитие с поверхности мощной (до 3,0 – 5,0 м) толщи делювиально-элювиальных образований, имеющих низкие прочностные свойства;
2. Наличие мощных зон высачивания грунтовых вод, что способствует переувлажнению элювиально-делювиальных пород и их переходу в неустойчивое состояние. Глубина уровня подземных вод на данном участке изменяется от 1,3 м до 9,5 м от уровня земли.
3. Абразионный подмыв основания береговых откосов, также способствующий снижению несущей способности грунтового массива.

Ежегодно на ПК «Пригородное» проводится мониторинг опасных геологических процессов, в ходе которого происходит фотоконтроль и замер уровня отступания береговой линии. Также выявляются процессы, вышедшие из-под контроля, (рисунок 2) и подготавливается перечень берегоукрепительных мероприятий.

Рис. 2. Размыв кабелей при обрушении старого переезда через овраг (2016 г.) [3]

Сейсмическое воздействие. ПК «Пригородное» расположен в зоне повышенной сейсмичности, что подтверждается неоднократными землетрясениями магнитудой более 5 на юге острова Сахалин. Заметный риск воздействия на геологическую среду на данной территории связан также с дополнительной нагрузкой на стратиграфические блоки при эксплуатации.

В результате сейсмического воздействия наиболее серьезные последствия могут возникнуть при разрушении резервуаров для хранения СПГ, которые расположены на территории производственного комплекса, так как объем хранимых здесь УВ составляет 200 тыс. $м^3$.

По результатам проведенных расчетов была построена карта (рисунок 3), показывающая макросейсмический эффект от потенциального землетрясения магнитудой 7 с эпицентром в г. Невельске, глубиной очага H=10 км и эпицентральным расстоянием R в пределах от 0 до 80 км.

Для оценки повторяемости сильных землетрясений была использована модель Пуассона: вероятность проявления одного землетрясения магнитудой M>5 за 10 лет эксплуатации составила 0,36. Вероятность того, что за данный период не произойдет ни одного такого землетрясения – 0,6; оценка сейсмического риска для исследуемой территории – 0,4. К примеру, для Урала вероятность возникновения землетрясения с магнитудой M>5 составляет 9% (землетрясение 4 сентября 2018 г.).

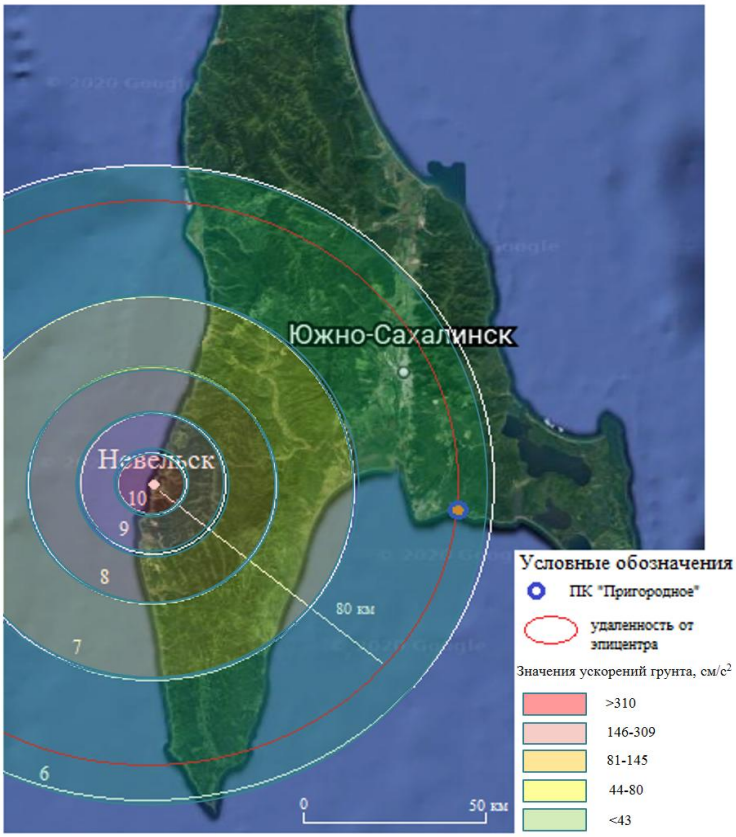


Рис. 3. Макросейсмический эффект моделируемого землетрясения

Построение модели землетрясения подтвердило, что территория ПК «Пригородное» относится к 6-балльной зоне. Ускорение грунта составляет менее 43 см/с^2 при том, что максимальные значения для данной зоны – 50 см/с^2. При проектировании производственного комплекса, в том числе резервуаров хранения УВ, проектом была учтена интенсивность сотрясений 6-7 баллов, поэтому несмотря на то, что риск сейсмического воздействия достаточно велик, последствия от него будут незначительными при нахождении эпицентра в активной надвиговой зоне западного побережья Сахалина. Интенсивность землетрясения 8-10 баллов при магнитуде 7 наблюдается на расстоянии до 30 км от эпицентра. Поэтому при расположении эпицентра аналогичного землетрясения на расстоянии менее 30 км от ПК «Пригородное», объекты могут подвергнуться существенному воздействию.

Цунами. Цунами на морском побережье Сахалина могут возникать как в результате землетрясений с эпицентрами, расположенными в непосредственной близости к Сахалину (Углегорск, остров Монерон), так и в результате землетрясений с эпицентрами, находящимися далеко от него (полуостров Камчатка, Чили и Аляска). Острова Курильской гряды способны задерживать большую часть волновой энергии с северо-запада Тихого океана, которая в противном случае распространялась бы по направлению к Сахалину.

Высоты цунами, рассчитанные для Озерска (рядом с ПК «Пригородное») для периодов повторяемости 25, 50 и 100 лет, составляют, соответственно, 110, 165 и 220 см. Батиметрия мелководья для Озерска такая же, как и для «Пригородного», поэтому результаты расчетов применимы для исследуемой территории. Тем не менее, все прибрежные сооружения ПК расположены выше уровня подъема волны при любом ожидаемом цунами. [2]

Прижимной ветер и штормовая активность. Для острова Сахалин характерны штормовые явления, которые возникают, в основном, в осенне-зимний период. В это время года штормы чаще бывают северо-западных направлений и могут длиться от 12–24 часов до 2-3 суток, скорость при этом достигает 30-40 м/с. Усиление штормовых ветров в холодное полугодие обычно связано с прохождением глубоких циклонов. Летом повторяемость штормовых ветров не превышает 5%, в основном от южных направлений, продолжительность которых, в основном, составляет 6-12 часов при скорости ветра до 28 м/с. [2]

Случаи штормовой активности, приводящие к серьезным авариям, уже имели место на юге о. Сахалин. 28 ноября 2015 года танкер «Надежда», стоявший на рейде Невельского морского порта, во время шторма прижимным ветром был выброшен на мель. При этом машинное отделение судна затопило, а в воду вылилось 65 тонн нефтепродуктов, что вызвало массовую гибель птиц.

Ситуации, при которых возможно возникновение прижимного ветра, имеют место и в акватории залива Анива. Навальный, или нажимной ветер может прижимать судно или дрейфующий лед к причалу или припаю. [4] Данное явление может произойти при швартовке, а также наливе танкеров-газовозов и нефтяных танкеров, что приведет к разливу нефти или утечке газа.

Рис. 4. Внешний вид судов обеспечения («Свитцер Сахалин» и ТБС «Агат») [20]

Для недопущения подобных инцидентов в акватории залива постоянно курсируют четыре буксира ледового класса (Свитцер Сахалин, Свитцер Корсаков, Свитцер Буссе, Свитцер Анива) и дежурное судно «Агат» с оборудованием ЛРН на борту (рисунок 4), помогающие в швартовке судов и способные контролировать ледовую обстановку в гавани, преодолевая лед толщиной до 85 см, а также прорубать каналы для танкеров. [5]

Ледовые условия. В зимний период залив Анива частично покрывается льдом. Формирование ледового покрова обычно происходит в конце декабря – начале января и сохраняется до конца марта–начала апреля. Самые суровые ледовые условия возникают в заливе Анива в течение марта. Однако лед значительно тоньше и условия в целом мягче по сравнению с Охотским морем и северо-восточным шельфом острова Сахалин, где лед сохраняется до конца июня.

Под воздействием ветра и течения крупные ледяные поля, формирующиеся в Охотском море, могут попадать в акваторию залива Анива и двигаться в направлении морских объектов ПК. При подобных вторжениях относительно толстые паковые льды могут оказаться в непосредственной близости от выносной причальной установки и причала отгрузки СПГ.

В ледовый сезон совместная работа двух судов обеспечения (рисунок 4), описанных ранее, реализует прокладку канала с шириной, достаточной для подхода-отхода нефтеналивных танкеров и танкеров-газовозов.

Литература

1. Методические указания по анализу и оценке рисков ПЭБ, ОТ и ГЗ с использованием метода «Bow-Tie». Группа компаний ГПН. г. Санкт-Петербург. 2016. – 14 с.
2. Реконструкция завода СПГ. Проект Сахалин-2. Причал отгрузки СПГ Проектная документация Раздел 8. Предварительная оценка воздействия объекта капитального строительства на окружающую среду // «Сахалин Энерджи». 2017. – 377 с.
3. Технический отчет по результатам мониторинга опасных геологических процессов на объектах СПГ/ТОН // «Сахалин Энерджи». 2017. – 27 с.
4. Л.З. Прох. Словарь ветров. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1983 – 65 с.
5. План по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов для морских объектов производственного комплекса «Пригородное» (ЛАРН) // «Сахалин Энерджи». 2017. – 133 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЯЧЕЙКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ БАРБОТАЖА.

Чанцев В.Ю.
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Санкт-Петербург, Россия

FORMATION OF A VERTICAL CIRCULATION CELL UNDER THE ACTION OF BUBBLING.

Chantsev V.Yu.
FSBEI HE “Russian State Hydrometeorological University”

Рассматривается возможность численного моделирования формирования вертикальной циркуляционной ячейки подо льдом на мелководье с использованием негидростатической модели. В представленной работе приводится описание численной 2D-модели циркуляции вод морского порта в зимний период с привлечением действия термо-барботажной установки. В рамках разработанной модели проведены численные эксперименты. Результаты экспериментов показали адекватность численных решений относительно наблюдаемых распределений термодинамических параметров.

The numerical modeling possibility of the formation of a vertical circulation cell under ice in shallow water using a non-hydrostatic model is considered. A description of the numerical 2D-model of the circulation of the waters of the seaport in the winter period with the involvement of the action of a thermo-barbotage installation is given in the present work. Numerical experiments were carried out in the framework of the developed model. The experimental results demostrated the adequacy of numerical solutions for the observed distributions of thermodynamic parameters.

Интенсивное освоение арктических территорий и, в первую очередь, прибрежных районов морей Северного Ледовитого океана приводит к необходимости развивать транспортную инфраструктуру, обеспечивающую круглогодичную навигацию. Практика обеспечения зимней навигации в замерзающих морях осуществляется давно. Борьбу с плавающим льдом осуществляют с помощью ледокольного флота. В открытом море такой метод вполне оправдан, но на ограниченных акваториях морских портов он приводит постепенно к аккумуляции ледяных массивов, особенно у причальных стенок (рис. 1).

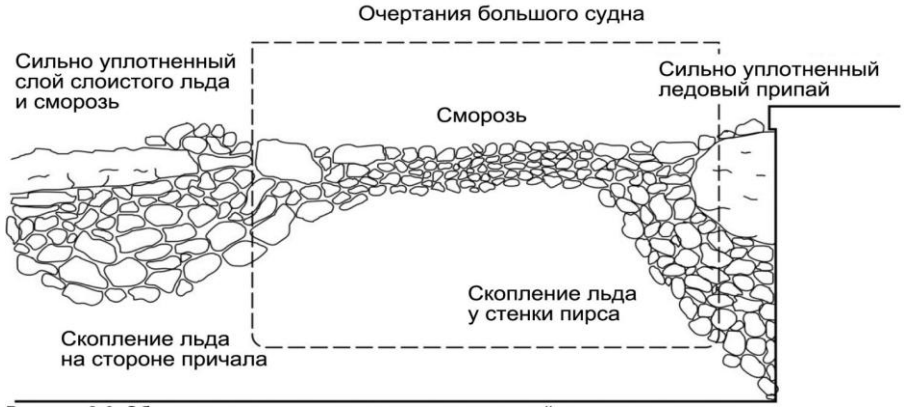


Рисунок 1. Аккумуляция льда после работы ледокола

В балтийских портах Северной Европы уже несколько лет используют барботажные установки, позволяющие подавать придонную более теплую воду к поверхности и растапливать лед возле причальных стенок (рис. 2).

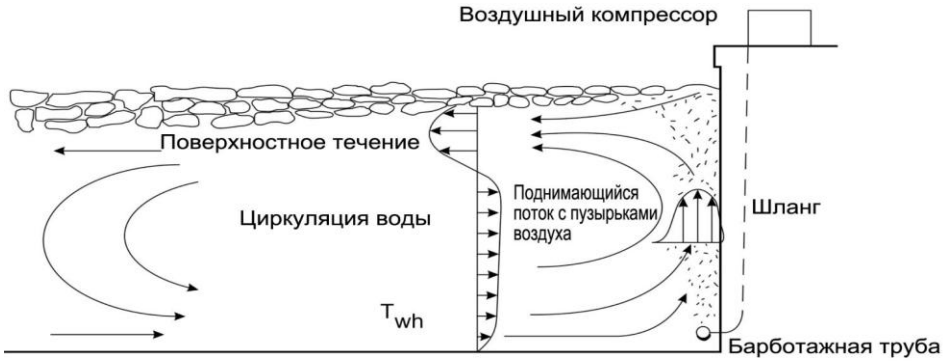


Рисунок 2. Формирование циркуляционной ячейки под действием барботажной установки

В полярных морях с повышенной соленостью вод, в том числе и в прибрежных районах, классический барботаж не может быть использован в качестве механизма борьбы с плавающим льдом по причине недостаточности теплозапаса придонных вод для растапливания льда. Наиболее перспективной возможностью борьбы с ледяным покровом на акватории порта признается его растапливание с использованием специальных технических средств. В качестве таких средств выступают тепло-барботажные системы, устанавливаемые непосредственно у причальных стенок. Но остается одна проблема использования таких систем: необходимо знать оптимальные параметры ее работы для обеспечения эффективной борьбы с нарастанием льда, как у причальных стенок, так и на остальной акватории порта.

Для эффективного размещения на акватории порта и осуществления оперативной оценки условий работы тепло-барботажной установки в зимних условиях разрабатывается простая негидростатическая гидродинамическая модель, позволяющая воспроизводить основные процессы термогидродинамической циркуляции вод при учете особенностей вертикальной плотностной стратификации, связанной со значительными вертикальными градиентами солености, характерными для арктических морей (например, порт Сабетта в Обской губе Карского моря).

В работе приводится описание результатов лабораторных экспериментов по определению вертикальной скорости вовлечения воды воздушными пузырями [1,2] и разработанной на сегодняшний день 2D модели пристеночного барботажа [3], позволяющей в вертикальной плоскости, ориентированной перпендикулярно к причальной стенке, воспроизводить основные процессы вертикальной термогидродинамической циркуляции вод.

Целью создания математической модели циркуляции вод на акватории порта с учетом действия термо-барботажных установок послужило следующее:

- необходимость выработки рекомендаций по заданию интенсивности работы термо-барботажной установки при борьбе со льдом у причальных стенок;
- подготовка рекомендаций по использованию термо-барботажных установок для растапливания льда на различных участках акватории порта.

– Расчет оценки энергозатрат действия термо-барботажных установок для различных состояний суровости погодных условий.

В основе модели лежит система уравнений термогидродинамики в негидростатическом представлении. Движение подогретой воды осуществляется только воздушно-пузырьковой завесой, генерируемой барботажной установкой. Формируемая вертикальная циркуляционная ячейка обеспечивает плавление поверхностного льда. Результаты моделирования сравнивались с данными натурного эксперимента в порту Сабетта.

Проведенные численные эксперименты продемонстрировали возможность применять 2D-модель при анализе использования термо-барботажных установок для управления локальной ледовой обстановкой на акватории порта вблизи причалов. Результаты экспериментов показали адекватность численных решений относительно наблюдаемых распределений термодинамических параметров. Даже на сегодняшней стадии разработки численной модели барботажа данную модель вполне можно использовать для уточнения требуемого режима работы технических систем борьбы с нарастанием ледового покрова.

Литература

1. *В.Ю. Чанцев* Анализ вертикального движения воздушно-пузырьковой завесы в воде // Ученые записки РГГМУ, № 46, 2017, с. 64-70

2. *В.Ю. Чанцев* Определение параметров воздушно-пузырькового барботажа в воде // Проблемы Арктики и Антарктики №1(111), 2017, с. 39-45

3. *В.Ю. Чанцев* 2D моделирование пристеночного барботажа в замерзающем порту// Ученые записки РГГМУ, № 49, 2017, с. 88-97

РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА СТОКА МАЛОЙ РЕКИ ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИМ И ИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ

Чижова Ю.Н.[1], Киреева М.Б.[2], Тебенькова Н.А.[3], Горбаренко А.В.[2], Косицкий А.Г.[2]

1. ИГЕМ РАН, Москва;
2. МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва;
3. ЛИКОС ААНИИ, С.-Петербург.

HYDROGRAPH SEPARATION OF A SMALL RIVER RUNOFF BY THE GRAPHOANALYTIC AND ISOTOPIC METHOD

Chizhova Ju.[1], Kireeva M.[2], Tebenkova N.[3], Gorbarenko A.[2], Kositsky A.[2]

1 IGEM RAS, Moscow;
2 Lomonosov's Moscow State University, Moscow
3 LIKOS, Arctic and Antarctic Research Institute, St.-Peterburg.

Выполнено расчленение стока реки Протвы в центре Восточно-Европейской равнины двумя методами. Комбинирование графо-аналитического и изотопного методов позволило оценить вклад атмосферных осадков, грунтовых вод и вод верховодки в сток реки.

Hydrograph separation of the Protva river runoff in the center of the East European Plain has been performed by two methods. Combination of graphical-analytical and isotopic methods allowed us to make estimates of atmospheric precipitation, groundwater and upper waters inputs into the river runoff.

Введение. В последние десятилетия процессы формирования весеннего половодья, связанного с интенсивным таянием снега весной становятся все менее предсказуемыми, а прогнозы таких важнейших характеристик, как максимальные расходы и уровни воды не укладываются в диапазоны допустимых ошибок. В отдельных областях отмечено резкое снижение водности рек, сменяющееся катастрофическими наводнениями, связанными с аномальностью гидрометеорологических условий и неблагоприятным сочетанием сразу нескольких факторов. Все это свидетельствует о перестройке системы и процессов формирования стока в регионах с существенной долей снегового питания.

Предложен метод обработки и визуализации гидрологической информации для преодоления разрыва между точечными данными о генетических компонентах речного стока и многолетними данными об основных гидрологических характеристиках [Kireeva et al., 2000]. Примененная модель расчленения стока реки Протвы, протекающей в центральной части Восточно-Европейской равнины, на генетические компоненты верифицирована расчленением гидрографа изотопным методом. Первые наблюдения за изотопными характеристиками р. Протвы были выполнены в 2009-2011 гг. [Чижова и др., 2013], что позволило использовать этот водосбор для апробации сопоставления двух методов расчленения гидрографа стока.

Методы. Методика расчленения гидрографа графо-аналитическим методом (в алгоритме GrWat) основывается на следующих положениях: 1) динамика подземного стока отдельных водоносных пластов определяется степенью гидравлической связи этих пластов с рекой; 2) расчленение гидрографа заключается в выделении на нем подземной составляющей с учетом закономерностей динамики подземного стока в реку. Метеорологическая информация (в виде данных ре-анализа) используется в качестве индикатора и возможности отнесения пиков на гидрографе к группам событий

– оттепелям или дождевым (смешанным) паводкам. Для двухкомпонентного изотопного расчленения гидрографа р.Протвы были выбраны периоды летней межени, когда атмосферные осадки выпадали либо локально, либо незначительно и не формировали выраженного дождевого паводка. Это было сделано потому, что изотопным методом можно установить даже незначительный вклад поступления атмосферных осадков в речной сток [Чижова и др., 2013].

Двухкомпонентное расчленение позволяет использовать только один консервативный трассер – значение $\delta^{18}O$ и на основе балансового уравнения установить долю грунтовой составляющей и атмосферных осадков:

$Q_c = Q_г + Q_{ос}$

$C_c Q_c = C_г Q_г + C_{ос} Q_{ос}$

Где Q – расходы, C – значения $\delta^{18}O$, индексы *с, г, ос* – сток, грунтовые, осадки, соответственно.

Измерения изотопного состава кислорода в водах р.Протвы в 2009-2011 гг. были выполнены в МГУ им. М.В.Ломоносова на масс-спектрометре Delta-V совмещенном с Gas-Bench-II в режиме постоянного потока гелия. Измерения 2019 г. были выполнены на изотопном анализаторе Picarro L2130 в лаборатории ЛИКОС ААНИИ.

Отбор проб речной воды для изотопного анализа выполнялся в пределах учебно-научного полигона Сатино, здесь же были опробованы выходы грунтовых вод у пос. Дедюевка в родниках и колодце. В качестве изотопной характеристики атмосферных осадков использовались осредненные месячные величины $\delta^{18}O$ осадков Москвы по данным GNIP Database. Для изотопного расчленения гидрографа реки было принято допущение, что изотопные параметры осадков Москвы можно использовать для бассейна Протвы. Поскольку бассейн Протвы довольно большой (3640 км^2), время добегания осадков с поверхностным стоком до русла реки может различаться в зависимости от локальных участков, при этом изотопный сигнал атмосферных осадков естественным образом осредняется. По данным GNIP Database осредненные значения $\delta^{18}O$ осадков составляют −7,56‰ для июня, −6,63‰ для июля и −8‰ для августа.

Результаты. По результатам изотопного расчленения в стоке р. Протвы в середине лета доля атмосферных осадков составляет от 21 до 38%. В летнюю межень 2009 г. вода в р. Протва характеризовалась значением $\delta^{18}O$= −11,24‰, за изотопный состав кислорода грунтовой компоненты принято значение $\delta^{18}O$= −12,9‰ (родник у дер.Дедюевка – выход грунтовых вод [Чижова и др., 2013]). Доля грунтовой составляющей 28 июля после спада дождевого паводка оценена по изотопному расчленению в 74%, что эквивалентно 9,6 м^3/с. В графо-аналитическом методе базисный сток оценивается в 11,9 м^3/с. Таким образом, базисный сток на 80% состоит из грунтового стока и на 20% из атмосферных вод, поступающих через почвенный горизонт (верховодку) в данный день межени.

Для двух дней летней межени 2010 г. (27 и 29 июня) вклад грунтового питания оценен изотопным расчленением в 67 и 62%, а согласно графо-аналитическому расчленению базисный сток составлял 93 и 97% соответственно. Отбор был проведен через 10-12 дней после конца спада крупного паводка. Базисный сток согласно полученным результатам на 70% состоял из грунтового, на 30% - из атмосферных осадков. Мы предполагаем, что эти 30% осадков в базисном стоке поступали с отложенным временем через верховодку (фильтрация через почвенные горизонты).

В летнюю межень 2011 г. в графо-аналитическом методе доля базисного стока была оценена в 100%, при этом по изотопному расчленению, доля атмосферных осадков в питании реки составила 25%. Отбору предшествовал неинтенсивный подъем

воды дождевого генезиса. Таким образом, около 25% стока формировалось верховодкой.

Аналогично, сток р. Протва в летнюю межень 2019 года в день отбора пробы на 100% был представлен базисной составляющей. При этом, анализ гидрографа показывает относительное повышение водности на фоне неинтенсивных дождевых паводков – хорошо прослеживается поверхностный дождевой сток до и после даты отбора согласно графо-аналитическому расчленению. Согласно изотопному расчленению, сток реки на 77% состоял из грунтовых вод и на 23% из атмосферных. Эта атмосферная влага поступала в сток через верховодку. Во время половодья 2019 (14 апреля) доля грунтового питания составила 71%. Согласно графо-аналитическому расчленению речной сток на 85% относился к базисной составляющей. Таким образом, базисный сток на 84% состоял из грунтового стока. К моменту опробования 14 апреля в водосборе снежный покров сошел не окончательно, талый снеговой сток, согласно расчленению, в речной воде составлял 29%, половина из которого поступала в виде базисного стока (фильтрация через почвенные горизонты) согласно графо-аналитическому расчленению.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект №19-77-10032

Литература

Kireeva M.B., Rets E.P., Frolova N.L., Samsonov T.E., Povalishnikova E.S., Entin A.L., Durmanov I.N., Ivanov A.M. Occasional floods on the rivers of russian plain in the 20th –21st centuries // GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY. 2020. Vol. 13, no. 2. P. 84–95.

Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Ефимова Л.Е. и др. Изотопно-кислородный состав осадков и воды в речной системе средней Протвы // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2013. № 2. С. 84–93.

ВЛИЯНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТРАНСПОРТ ВЗВЕСЕЙ И НАНОСОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОДОЁМОВ

Чистяков А.Е. [1],. Кузнецова И.Ю [2],. Проценко Е.А [3], Атаян А.М. [1]

[1]Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия
[2]Южный Федеральный университет, Таганрог, Россия
[3]Таганрогский институт им. А.П. Чехова (филиал) РГЭУ, Таганрог, Россия

THE INFLUENCE OF WAVE PROCESSES ON TRANSPORT OF SUSPENSIONS AND SEDIMENTS IN THE COASTAL ZONE OF WATERS

Chistyakov A.E. [1], Kuznetsova I.Y. [2], Protsenko E.A. [3] , Atayan A.M. [1]
[1]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia
[2]Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
[3]A.P. Chekhov University of Taganrog (branch of Rostov State University of Economics), Taganrog, Russia

В работе представлены результаты моделирования движения взвешенных частиц при ремонтных дноуглубительных работах на основе численного решения задачи транспорта взвеси при наличии волновых гидродинамических процессов. На основе полученных результатов исследовано влияние проводимых работ на гидробиологические процессы в водоеме.

The article presents the results of modeling the movement of suspended particles during repair dredging operations based on the numerical solution of the problem of suspension transport taking account of wave hydrodynamic processes. Based on the results obtained, the influence of the repair dredging operations on the hydrobiological processes in water is studied.

Введение. Активная деятельность человека и естественные процессы пагубно влияют на гидросферу, вызывая загрязнение природных вод из-за попадания в ручьи, реки, озера, моря и океаны различных химических веществ, твердых отходов или размножения в них микроскопических живых организмов (бактерий, грибов, водорослей). Нарушение экологического баланса в сложившихся экосистемах дельт и прибрежных систем приводит к негативным изменениям в них и в регионе в целом [1-3]. При осаждении взвешенных частиц на дно водоема наблюдается угнетение организмов зообентоса, являющихся неотъемлемым компонентом питания рыб, а также заиление мест нереста. Возникает необходимость прогнозирования изменения экологического состояния мелководных водоемов вследствие возникновения в них явлений природного и техногенного характеров на основе методов и средств математического моделирования в прибрежных системах с различным пространственным разрешением от десятков метров – до нескольких километров [4-6]. В соответствии с нормативными документами, время принятия решения для устранения ЧС (чрезвычайной ситуации) природного или техногенного характеров должно составлять от нескольких часов до 2 – 3 суток, т.е. время, отведенное на построение прогнозов экологического состояния водных экосистем при возникновении в них чрезвычайных событий и катастрофических явлений природного и техногенного характеров, является ограниченным.

Целью работы является прогнозирование процессов распространения загрязнений на основе разработки комплекса взаимосвязанных прецизионных 3D моделей

гидрофизики, учитывающих специфику прибрежных систем Юга России. Для достижения этой цели будут исследованы механизмы первичного и вторичного загрязнений прибрежных систем с учетом течений, режимов распределения солености и температур водной среды, солнечной радиации и процессов биоразложения, влияния волнения и штормовых нагонов на вторичное загрязнение и механическую деструкцию загрязнений, взмучивания донных отложений и транспорта взвесей.

Модель переноса взвеси. Для описания транспорта взвешенных частиц воспользуемся уравнением диффузии-конвекции, которое может быть записано в следующем виде [7-8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\frac{\partial (uC)}{\partial x}+\frac{\partial (vC)}{\partial y}+\frac{\partial \left((w-w_s)C\right)}{\partial z}=\frac{\partial}{\partial x}\left(D_h\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(D_h\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(D_v\frac{\partial C}{\partial z}\right)+F, \qquad (1)$$

где C – массовая концентрация взвеси [кг /м^3]; $V=\{u,v,w\}$ – составляющие поля вектора скорости [м/с]; w_s – гидравлическая крупность или скорость осаждения взвеси в вертикальном направлении [м/с]; H – глубина [м]; D_h, D_v – горизонтальный и вертикальный коэффициенты турбулентной диффузии [м^2/с]; x, y – координаты в горизонтальном направлении [м]; z – координата в вертикальном направлении [м]; t – временная переменная [с]; F – функция, описывающая интенсивность распределения источников загрязняющих веществ [кг /м^3·с].

На свободной поверхности поток в вертикальном направлении равен нулю: $C_z'=0$. Вблизи поверхности дна: $D_vC_z'=w_sC$. На боковой поверхности отсутствует поток $C_n'=0$, если $(V,n)\ge 0$, и взвесь выходит за границу расчетной области $D_hC_n'=V_nC$, если $(V,n)<0$, где V_n – нормальная составляющая вектора скорости, n – вектор нормали, направленный внутрь расчетной области.

Трехмерная модель гидродинамики. Исходными уравнениями гидродинамики мелководных водоемов являются [9-10]:

– уравнение движения (Навье – Стокса):

$$u_t'+uu_x'+vu_y'+wu_z'=-\frac{1}{\rho}P_x'+\left(\mu u_x'\right)_x'+\left(\mu u_y'\right)_y'+\left(\nu u_z'\right)_z',$$

$$v_t'+uv_x'+vv_y'+wv_z'=-\frac{1}{\rho}P_y'+\left(\mu v_x'\right)_x'+\left(\mu v_y'\right)_y'+\left(\nu v_z'\right)_z', \qquad (2)$$

$$w_t'+uw_x'+vw_y'+ww_z'=-\frac{1}{\rho}P_z'+\left(\mu w_x'\right)_x'+\left(\mu w_y'\right)_y'+\left(\nu w_z'\right)_z'+g;$$

– уравнение неразрывности в случае переменной плотности:

$$\rho_t'+\left(\rho u\right)_x'+\left(\rho v\right)_y'+\left(\rho w\right)_z'=0, \qquad (3)$$

где $V=\{u,v,w\}$ – компоненты вектора скорости, P – давление, ρ – плотность, μ,ν – горизонтальная и вертикальная составляющие коэффициента турбулентного обмена, g – ускорение свободного падения.

Система уравнений (2)-(3) рассматривается при следующих граничных условиях:

– на входе

$u=u_0,\quad v=v_0,\quad P_n'=0,\quad V_n'=0,$

– боковая граница (берег и дно)

$\rho\mu u_n'=-\tau_x,\ \rho\mu v_n'=-\tau_y,\ V_n=0,\ P_n'=0,$

– верхняя граница

$$\rho\mu u_n' = -\tau_x,\ \rho\mu v_n' = -\tau_y,\ w = -\omega - P_t'/\rho g,\ P_n' = 0,$$

(4)

где ω – интенсивность испарения жидкости, τ_x, τ_y – составляющие тангенциального напряжения.

Составляющие тангенциального напряжения для свободной поверхности $\{\tau_x, \tau_y\} = \rho_a Cd_s |\vec{w}| \{w_x, w_y\}$, $Cd_s = 0.0026$, где $\vec{w}$ – вектор скорости ветра относительно воды, ρ_a – плотность атмосферы, Cd_s – безразмерный коэффициент поверхностного сопротивления, который зависит от скорости ветра, рассматривается в диапазоне 0.0016-0.0032.

Составляющие тангенциального напряжения для дна с учетом движения воды можно записать следующим образом $\{\tau_x, \tau_y\} = \rho Cd_b |V| \{u, v\}$, $Cd_b = gn^2 / h^{1/3}$, где $n = 0,04$ групповой коэффициент шероховатости в формуле Мэннинга, 0,025-0.2; $h=H+\eta$ – глубина акватории [м]; H – глубина до невозмущенной поверхности [м]; η – высота свободной поверхности относительно геоида (уровень моря) [м].

Результаты численных экспериментов. Приведено распространение взвешенных веществ в водной среде. Моделировалась ситуация, при которой в нулевой момент времени происходит выброс взвеси. Источник взвеси расположен по координате Ox в 5 м от источника колебаний (левой границы области), по центру расчетной области по оси Oy и на 20 см ниже уровня жидкости по оси Oz. Жидкость в начальный момент времени находилась в состоянии покоя. При помощи вычислительных экспериментов, моделирующих распространение взвеси в водной среде при наличии поверхностных волн и с плотностью взвеси, равной плотности водной среды, можно изучать влияние волн на передачу импульса в горизонтальных и вертикальных направлениях. На рис. 1 приведены результаты расчетов моделирования распространения взвеси плотностью 2700 кг/м^3.

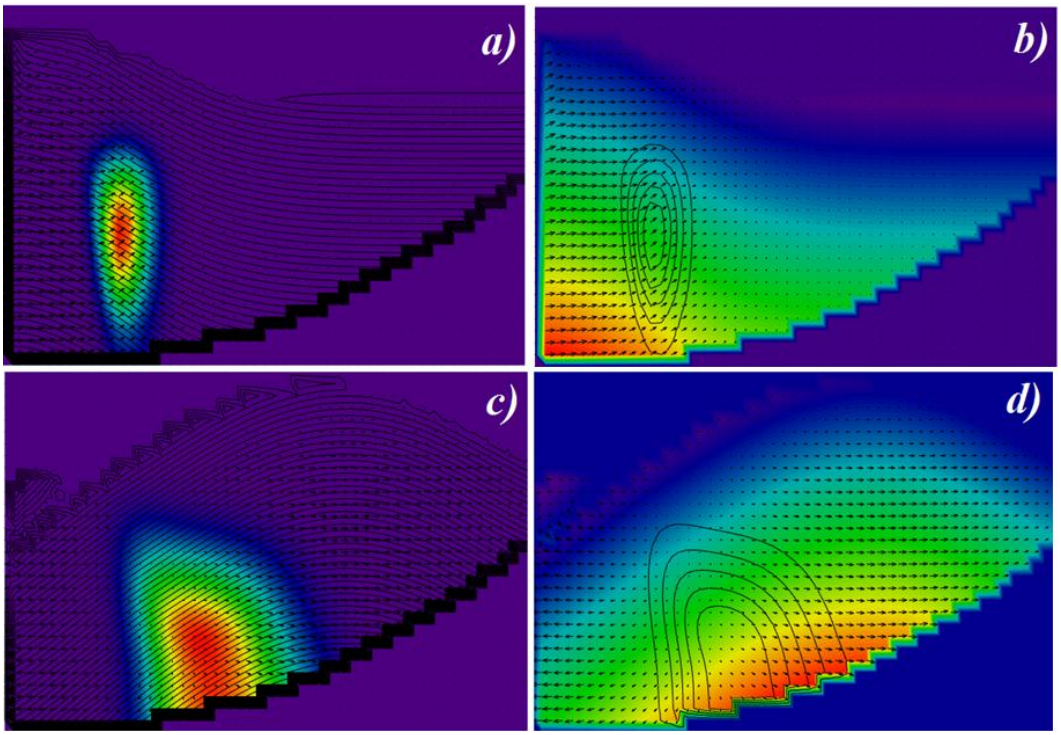


Рис. 1 – Концентрация взвеси через 2 (a,b) и 5 (c,d) с после момента выброса. a,c – палитрой показано поле концентраций, b,d – палитрой показано поле давления

На рис. 1 показано моделирование такого важного эффекта как «струйный эффект», при котором происходит ускоренное начальное погружение «тяжелой» струи при залповом сбросе грунта. Верификация модели транспорта взвеси (коэффициента турбулентного обмена по горизонтали) выполнена на основе исследования зависимости ширины зоны смешения и описана в работе [11].

При моделировании пространственно-временной структуры и изменчивости полей концентраций взвесей на основе 2D моделей не учитывается распределение концентрации взвеси по вертикальной компоненте. В зонах проведения дноуглубительных работ максимальная концентрация может составлять более 50 г/л, а максимально допустимая концентрация не должна превышать 50 мг/л, следовательно, применяемая модель может допускать погрешность расчетов не более 0,1 %. При использовании двумерных моделей взвесь осаждается значительно медленнее. Например, предположим, что взвесь равномерно распределена по глубине. Возьмем шаг по времени, равный половине времени осаждения. Согласно модельным расчетам, за первый шаг осаждается 1/2 взвеси, за второй – 1/4 взвеси. После двух шагов по времени во взвешенном состоянии не должно оставаться частиц, но согласно расчетам 1/4 взвеси еще не осаждено. При малом значении шага по времени τ и расчете на время осаждения расчеты по модели будут показывать, что в водоеме во взвешенном состоянии остается $1/e$ или 37% частиц. Для того чтобы концентрация взвеси упала от N_1 до N_2, где N_2 значительно меньше N_1, модель покажет, что для осаждения взвеси затрачивается $\ln\left(N_1 / N_2\right)$ больше времени при малых шагах τ.

Заключение. Разработан комплекс объединенных математических моделей для описания переноса многокомпонентной взвеси и донных материалов в условиях сложной, динамически изменяемой геометрии дна и функции возвышения уровня. Математическая модель гидродинамики включает в себя три уравнения движения, описывает поведение функции возвышения уровня, затопление-осушение прибрежной территории и учитывает изменение глубины дна водного объекта и переменную плотность, зависящую от концентрации взвеси. Разработанная математическая модель и разработанный проблемно-ориентированный комплекс программ позволяют предсказать появление морских гряд и кос, их рост и трансформацию, прогнозировать изменение поля концентрации в случае выброса от источника, прогнозировать заиление подходных судоходных каналов, заносимость гидротехнических конструкций и сооружений.

Литература

10. Ковтун И.И., Проценко Е.А., Сухинов А.И., Чистяков А.Е. Расчет воздействия на водные биоресурсы дноуглубительных работ в Белом море // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2016. Т. 9, № 2. С. 27-38.

11. Чернявский А.В. Трансформация донных зооценозов в районе Григоровской свалки грунта // Дноуглубительные работы и проблемы охраны рыбных запасов и окружающей среды рыбохозяйственных водоемов. Астрахань, 1984. С. 208-210.

12. Суслопарова О.Н. Отчет: Рыбохозяйственный мониторинг при производстве дноуглубительных работ на акватории Нефтяной гавани, 2003. Фонды ГосНИОРХ.

13. Иванова В.В. Экспериментальное моделирование заваливания зообентоса при дампинге грунтов // ГосНИОРХ. 1988. Вып. 85. С. 107-113.

14. Корректировка «Проекта на разработку месторождения песков «Сестрорецкое», расположенного в Финском заливе Балтийского моря» в связи с реконструкцией карьера. ООО «Эко-Экспресс-Сервис», 2012.

15. Морозов А.Е. Донная фауна малых рек и влияние на нее взвешенных веществ дренажных вод // Рыбохозяйственные исследования водоёмов Урала. Л., 1979.

16. Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А. Разностная схема для решения задач гидродинамики при больших сеточных числах Пекле // Компьютерные исследования и моделирование. 2019. Т.11, № 5. С. 833-848. DOI: https://doi.org/10.20537/2076-7633-2019-11-5-833-848

17. Белоцерковский О.М., Гущин В.А., Щенников В.В. Метод расщепления в приме-нении к решению задач динамики вязкой несжимаемой жидкости // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1975. 15, № 1. 197–207.

18. Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А., Сидорякина В.В., Проценко С.В. Метод учета заполненности ячеек для решения задач гидродинамики со сложной геометрией расчетной области // Матем. моделирование, 31:8 (2019), 79-100.

19. Сухинов А.И., Чистяков А.Е., Проценко Е.А. О разностных схемах «кабаре» и «крест» // Вычислительные методы и программирование: новые вычислительные технологии. 2019. Т. 20, № 2. С. 170-181. DOI: https://doi.org/10.26089/NumMet.v20r216

20. Sukhinov, A.I., Chistyakov, A.E., Kuznetsova, I.Y., Protsenko, E.A. Modelling of suspended particles motion in channel // Journal of Physics: Conference Series, 2020, Vol. 1479, Is. 1, 012082. DOI: 10.1088/1742-6596/1479/1/012082

21. Бердников С.В. Экспедиционные исследования южного научного центра РАН в 2018 г. Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген // Материалы конференции: электронный ресурс. 2019. С. 12–27.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00623

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ НА ФОНЕ АРКТИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ

Шапкин Б.С. [1],. Рубченя А.В [1], Иванов Б.В. [1,2,3] Ревина А.Д. [2,3],
[1]Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия
[2]Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия
[3]Институт Физики Атмосферы, РАН, Москва, Россия

CHANGES OF ICE CONDITIONS IN REGION OF WEST ARCTIC IN THE CONTEXT OF ARCTIC AMPLIFICATION

Shapkin B. [1], Rubchenia A. [1], Ivanov B. [1,2,3], Fedorova A. [2,3],
[1]Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia
[2]Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia
[3]Institute of Atmospheric Physic, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

На основе спутниковых данных анализируются ледовые условия в водах Западного сектора Арктики. Выявлено резкое увеличение межгодовых колебаний ледовитости на рубеже 2005-2006 гг., в это же время произошли значимые изменения в ледовом режиме фиордов Западного Шпицбергена. Данные факты указывают на крупномасштабные процессы, протекающие на фоне известного «Арктического усиления».

Sea ice conditions of west Arctic region from remote sensing data were analyzed. High level of interannual ice cover variability was recorded at the turn of 2005-2006. At the same time, significant changes of ice conditions of West Svalbard fjords were happened. These facts show on large-scale process that are taking place in the context of Arctic amplification.

Одна из важнейших особенностей современной глобальной климатической системы – Арктическое усиление. Суть Арктического усиления состоит в том, что изменения приземной температуры в Арктическом регионе имеют более высокую скорость по сравнению с изменением глобальной приземной температуры. Стоит отметить, что Арктическое усиление – это региональное проявление более глобального процесса - полярного усиления, однако Антарктическое усиление более слабее Арктического [1].

Полярное усиление является проявлением различий в функционировании климатической системы в полярных и внеполярных широт. В настоящее время под полярным усилением понимают явление, характеризующееся более высокими амплитудами долговременных вариаций приземной температуры воздуха на высоких широтах по сравнению с среднем по миру [1].

Морской лед является чувствительным компонентом климатической системы в Арктике. Замерзание, таяние и движение морского льда определяются термодинамическим и динамическим воздействием атмосферы и океана. Морской лед также оказывает важное влияние на климатическую систему благодаря своему высокому альбедо и изолирующему эффекту, уменьшая теплообмен от океана к атмосфере. В районах, где морской лед отступил в последние годы альбедо уменьшается, что приводит к увеличению поглощения солнечной радиации в течение лета. Меньшее количество морского льда в зимний период означает, что поток тепла от океана к атмосфере увеличивается, способствуя зимнему атмосферному потеплению [2]

В последние десятилетия XX – начале XXI в. отмечается уменьшение средней толщины льда, главным образом, вследствие уменьшения площади многолетнего льда

и его замещения однолетним льдом. Наиболее значительное уменьшение толщины льда произошло в Центральной Арктике, бассейне Нансена и проливе Фрама, а также в Восточной Арктике. В районе к северу от Гренландии осадка льда не изменилась с 1980-х гг. вследствие торошения, вызванного особенностями крупномасштабной циркуляции льдов. Анализ изменений толщины припая, выполненный по данным измерений в районе Баренцева моря, евразийских арктических морей и Канадской Арктики, выявил устойчивое уменьшение толщины припайного льда на 0,11 м за десятилетие в районе о. Хопен (норв. Hopen) (в юго-восточной части архипелага Шпицберген) [3]. Систематические данные, собранные из пассивных микроволновых данных с 1979 года, показывают уменьшение площади арктического льда почти на 12% за десятилетие в сентябре и около 3% за десятилетие в марте (рис. 1). Наиболее выраженное зимнее сокращение в Северном Ледовитом океане наблюдается в районе Шпицбергена и Баренцева моря [2].

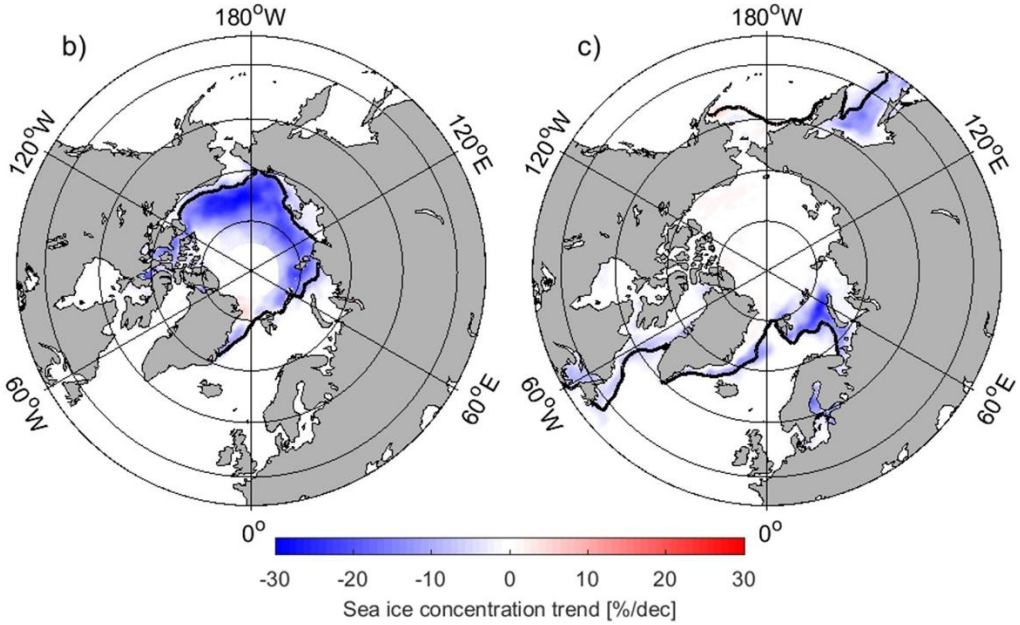


Рис. 1 - Линейные тренды концентрации морского льда (% за десять лет) в (b) сентябре и (c) марте 1979-2016 гг. Черные контуры показывают среднегодовое положение кромки морского льда [9].

Постепенное уменьшение количества льдов, переживших летнее таяние, определило изменение процентного соотношения между однолетними и многолетними льдами. Спутниковые наблюдения показывают, что в настоящее время однолетние льды преобладают в ледяном покрытии Арктики на момент его максимального развития: в марте 2016 г. 78% льдов были однолетними. Площадь льдов старше 5-ти лет уменьшилась с 16% в середине 80-х годов до 1,2% к 2016 г. Однолетние льды тоньше многолетних и потому легче тают, причём таяние весной теперь начинается раньше, а замерзание осенью - позже, чем несколько десятков лет назад. Изменение ледовой динамики Северного Ледовитого океана также связано с уменьшением толщины льдов. Тонкие льды более мобильны и более подвержены разрушению под действием ветров и волн. Спутниковые измерения показывают существенное увеличение скорости дрейфа льдов в Арктике после 2000 года. Спутниковый ряд измерений толщины арктических льдов короток и неоднороден, но, будучи помещён в контекст всех имеющихся на данный момент измерений, дополняет картину, которая показывает сокращение толщины льдов Арктики в течение последних десятилетий [4].

Анализ особенностей межгодовой и сезонной изменчивости основных элементов ледового режима проведен на основе расчетной информации, полученной в Мировом центре данных по морскому льду «Арктического и антарктического научно-исследовательского института» [5]. Источником информации для расчетов являются матрицы оценок общей сплоченности Северной полярной области (севернее 45° с.ш.) с дискретностью 1-2 дня, полученные на основе обработанных по алгоритму NASATEAM данных многоканальных микроволновых радиометров SSMR-SSM/I-SSMIS Национального центра данных по снегу и льду США (National Snow and Ice Data Center) за период с 26.10.1978 г. по настоящее время. Пространственное разрешение анализируемых спутниковых данных составляет 25x25 км, что накладывает определенные ограничения на возможности их использования. В частности, это позволяет проводить исследования в глобальном масштабе, но не дает достаточно детальной картины ледяного покрова.

В данной работе, мы будем придерживаться понятий зимнего (ноябрь-апрель) и летнего сезонов (май-октябрь) года, что в целом соответствует наблюдаемым в Арктике природным условиям и используется в многочисленных работах российских исследователей [6, 7].

По результатам проведённой работы отчётливо заметен отрицательный тренд в изменчивости ледовых условий в исследуемом районе. При этом в водах Карского моря, а также в северной части Баренцева моря и в прилегающих районах Арктического бассейна (рис. 2) наблюдается увеличение амплитуды колебаний ледовитости с 2006 года, что в свою очередь может свидетельствовать о крупномасштабной смене ледового режима в Западной Арктике и перестройке атмосферной и океанической циркуляции в исследуемом районе.

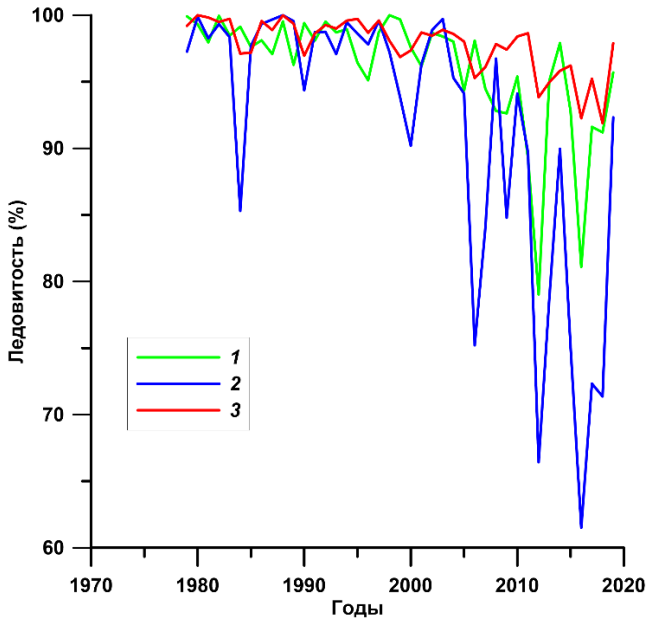


Рис. 2 - Характер изменчивости зимней ледовитости в северном районе Баренцева моря (1), Карском море (2) и в прилегающих районах Арктического бассейна (3) в период с 1979 по 2020 г.

Авторами доклада были выявлены 5-6 летние циклы колебаний ледовитости в районе Западного сектора Арктики. Полициклический характер колебаний ледовых характеристик морей Сибирского шельфа (ледовитость, толщина льда), внутренних атмосферных процессов (температура воздуха, циркуляция атмосферы) и внешних факторов (поступление коротковолновой солнечной радиации на Земную поверхность) описан в ряде работ специалистов ААНИИ [8, 9]. Основной внешний фактор указан

авторами как наиболее важный для долгопериодных (60 лет и более) колебаний ледовитости. Внутренние факторы, связанные с взаимодействием в системе «океан – морской лед – атмосфера», ответственны в большей степени за колебания с периодами 20 лет и менее. При этом для ледовитости и толщины льда в морях Западной Арктики (Гренландское, Баренцево, Карское) статистически значимый характер имеют колебания как с периодами порядка 60, так и 5-7 лет.

На рубеже 2002-2004 гг. и в дальнейшем в центральной части Арктического бассейна стало наблюдаться преобладание однолетних льдов по сравнению с многолетними [10]. В это же время произошли значимые изменения в ледовом режиме фиордов Западного Шпицбергена (значительное распреснение поверхностных вод, последующие периоды с отсутствием устойчивого припая и т.п.). Все вышеперечисленные факты указывают на крупномасштабные и не до конца объяснимые процессы, зафиксированные в различных частях полярной климатической системы в первом десятилетии XXI века, протекающие на фоне известного «Арктического усиления» [11, 1].

Литература

1. М.М. Латонин, И.Л. Башмачников, Л.П. Бобылев, Явление арктического усиления и его движущие механизмы // фундаментальная и прикладная гидрофизика. т. 13, № 3, С. 3-24, 2020

2. Hanssen-Bauer, I., E. J. Førland, H. Hisdal, S. Mayer, A. B. Sandø and A. Sorteberg (eds.). Climate in Svalbard 2100 - a knowledge base for climate adaptation. NCCS report. №1. 2019.

3. В.Ю. Александров, О.М. Йоханнессен Изменения толщины льда в Арктике с конца XIX века // Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (94), С. 63 – 73. 2012.

4.Е.В. Шалина, Л.П. Бобылев, Изменение ледовых условий в Арктике согласно спутниковым наблюдениям //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14. №. 6. С. 28-41. 2017.

5. http://wdc.aari.ru/datasets/–Мировой центр данных по морскому льду ААНИИ.

6. З.М. Гудкович, В.Ф. Захаров, Е.О. Аксенов, С.П. Позднышев, Взаимосвязь современных климатических изменений в атмосфере, океане и ледяном покрове // Тр. ААНИИ. Т. 437. С.7-17. 1997

7. В.Ф. Захаров Морские льды в климатической системе //СПб.: Гидрометеоиздат. 1996. С. 213.

8. И.Е. Фролов, З. М. Гудкович, В. П. Карклин, Е. Г. Ковалев, В. М. Смоляницкий. Климатические изменения ледовых условий в арктических морях Евразийского шельфа //Проблемы Арктики и Антарктики. №. 75. С. 149-160. 2007.

9. I.E. Frolov, Z.M. Gudkovich, V.P. Karklin, E.G. Kovalev, V.M. Smolyanitsky Climate change in Eurasian Arctic Shelf Seas. Springer-Praxis Books. ISBN 978-3-540-85874-4. P. 165. 2009.

10. А.В. Юлин, Н.А. Вязигина, Е.С. Егорова, Межгодовая и сезонная изменчивость площади льдов в Северном Ледовитом океане по данным спутниковых наблюдений // Российская Арктика. № 7. С. 28-40. 2019.

11. Г.В. Алексеев, В.Ф. Радионов, Е.И. Александров, Н.Е. Иванов, Н.Е. Харланенкова Климатические изменения в Арктике и северной полярной области // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (84). С. 67–80. 2010.

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ РОССИИ

Шаповалова К.О., Жильцова Е.Л.
Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

VULNERABILITY ASSESSMENT OF NATURAL AND ECONOMIC SYSTEMS IN PERMAFROST ZONE OF RUSSIA

Shapovalova K.O.,. Zhiltsova E.L
State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

Предложены количественные климатические показатели, определяющие природный и экономический потенциал криолитозоны России и дан их прогноз на середину 21 столетия. Представлены карты количественных индексов для оценки рисков природных и хозяйственных систем в зоне многолетней мерзлоты в условиях меняющегося климата, которые могут быть использованы в дальнейшем для рекомендательных мер адаптации населения и экономики к изменениям климата.

In this work, we propose quantitative climatic indicators of natural and economic potential of Russia's permafrost zone and provide forecast to the mid-21st century. We present maps of quantitative indices of risk assessment for natural and economic systems in the permafrost zone in a changing climate. These indices can be applied to the developing climate change adaptation strategy for population and economics.

ВведениеОколо 65% территории России находится в зоне распространения многолетней мерзлоты. На этой территории сосредоточены огромные запасы углеводородов, большое количество полезных ископаемых, пресной воды и лесных ресурсов. Пространство криолитозоны России включает несколько природных зон – арктическая пустыня, тундра, лесотундра, тайга, с характерными для каждой из них типами экосистем. В последние 25-30 лет область Арктики привлекает особое внимание исследователей, с одной стороны, как территория, где глобальные климатические изменения наиболее сильно выражены, а с другой - как регион с высоким минерально-сырьевым потенциалом.

По данным доклада Минприроды России за 2019 год рост среднегодовой температуры наблюдается в Российской Арктике (РА) и всех секторах с 1970-х гг. и резко ускоряется в 21 веке. Максимальное потепление за 1976-2019 гг. происходит в восточном секторе РА - 0.81°С/10 лет (в целом по РА - 0.70°С/10 лет). Из сезонов самое быстрое потепление в Арктической зоне России было отмечено весной (0.90°С/10 лет). Данные о мощности сезонно-талого слоя (СТС) на территории РФ, проводимые в рамках международного проекта циркумполярного мониторинга криолитозоны CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring), показывают положительный тренд температуры многолетней мерзлоты в целом для криолитозоны, хотя присутствует и значительная территориальная неравномерность этого процесса [1].

Несомненно, освоение и эксплуатация территорий в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) имеет огромный природный и экономический потенциал, который невозможно оценить без учета влияния климатических изменений [2, 3, 4].

Климатические показатели, определяющие природный и экономический потенциал криолитозоны России

Целью данной работы является оценка уязвимости хозяйственных и экосистем в зоне вечной мерзлоты России. Для решения этой задачи первоначально был отобран

ряд климатических показателей, позволяющий оценить природно-экономический потенциал территории распространения ММГ:

1. Суммы температур ниже 0°С и продолжительность периода с низкими температурами воздуха;
2. Сумма температур ниже 8°С (дефицит тепла) и продолжительность периода с дефицитом тепла;
3. Суммы температур выше 5°С и продолжительность вегетационного периода;
4. Сумма температур воздуха (выше 10°С) и продолжительность периода активной вегетации;
5. Число случаев перехода температуры воздуха через 0°С;
6. Суммы осадков за периоды начала и активной вегетации (температуры воздуха >5°и 10°С);
7. Максимальная высота снежного покрова;
8. Число дней со снежным покровом.

Анализ трендов 8 климатических показателей за период с 1978 по 2019 гг. говорит о значительном повышении теплообеспеченности в высоких широтах за последние 30-40 лет. В качестве примера на рисунке 1 показаны тренды продолжительности отопительного сезона (в период с устойчивой температурой ниже 8°) и суммы температур воздуха за этот же период, как имеющие наиболее важное значение с точки зрения экономики.

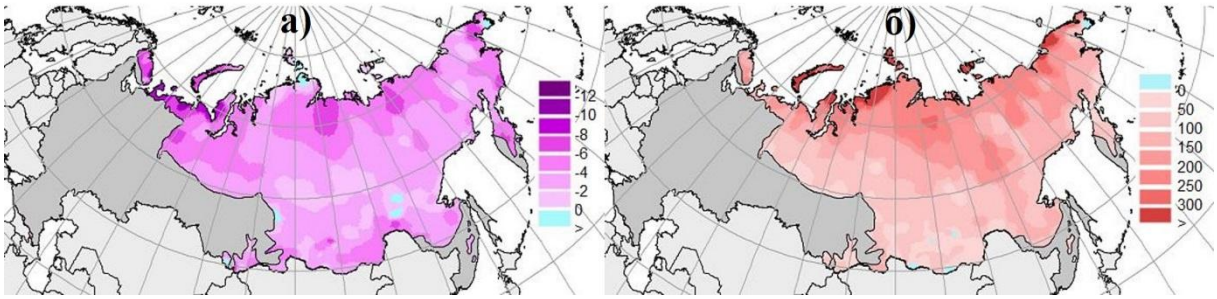


Рис. 1. Карты трендов за 1978-2019 гг.: а) продолжительность отопительного сезона (дней/10 лет); б) – суммы температур за отопительный сезон (°С*дни/10 лет)

Во всей области вечной мерзлоты тренд продолжительности отопительного периода отрицательный, сокращение отопительного периода на большей Азиатской части России составляет в среднем 4-6 дней за 10 лет, на Европейской – 8-10 дней/10 лет, на побережье Карского и Баренцева моря – до 10-12 дней/10 лет. Суммы температур за отопительный сезон в северных частях зоны вечной мерзлоты увеличиваются на 200 градусов/дней за 10 лет и более, а на остальной территории зоны на 50-100 градусов/дней. Таким образом, положительная тенденция сокращения продолжительности отопительного сезона создает определенную экономию в энергетических ресурсах для северных регионов РФ.

На основе ансамбля климатических моделей CMIP5 для сценария RCP 8.5 (с максимальным ростом концентрации парниковых газов без учета принимаемых мер для его демпфирования) были выполнены оценки 8 показателей для климатически-однородных регионов криолитозоны РФ на середину 21 века [5, 6, 7]. По результатам расчетов изменение климата проявляется в значительных величинах трендов, связанных с температурой воздуха, - продолжительность и суммы температур зимнего периода, периода вегетации, отопительного периода. За переменами в температурном режиме следуют изменения в глубине оттаивания сезонно-талого слоя многолетней

мерзлоты, которые приводят к деградации и уменьшению несущей способности грунтов, что проявляется в опасных последствиях для инфраструктуры.

Индекс геокриологического риска

Для оценки степени воздействия деструктивных геоморфологических процессов, происходящих вследствие потепления климата, на природную среду криолитозоны был разработан индекс геокриологического риска для природных систем. Риски, в первую очередь, определяются увеличением мощности сезонно-талого слоя при деградации многолетнемерзлых грунтов и льдистостью грунта. Просадка грунта при оттаивании в первом приближении пропорциональна произведению этих двух параметров. В случае если грунты засолены, они содержат так называемые криопэги, которые представляют собой переохлажденный незамерзший соляной раствор. При наличии криопэгов оттаивание начинается уже при более низких температурах грунта (слабоотрицательных) и просадка грунтов увеличивается. Этот эффект можно учесть в расчетах, используя коэффициент засоленности почвенной влаги [8].

Таким образом, геокриологические риски для природных систем можно характеризовать индексом I_e, рассчитываемым по формуле (1):

$$Ie = \Delta Z \times W \quad (1)$$

где ΔZ – рассчитанное для середины 21-го века увеличение мощности СТС ММГ по отношению к базовому периоду; W – льдистость грунта.

На рисунке 2 представлена карта нормированного индекса геокриологического риска для климатически-однородных районов криолитозоны.

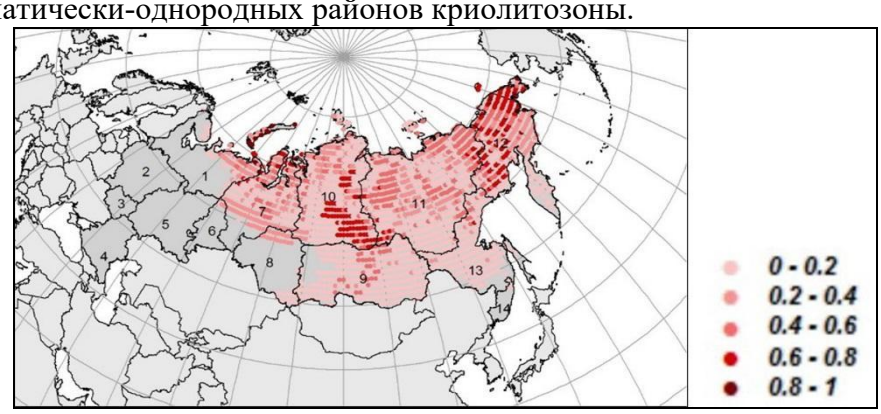


Рис. 2. Карта индекса геокриологического риска криолитозоны России

На рисунке 2 видно, что районы наиболее высоких рисков, имеющих значения индекса 0.6-0.8 и более, расположены в наиболее возвышенной части Среднесибирского плоскогорья, в горных районах северо-востока России, на севере Западной Сибири (на Ямальском и Гыданском полуостровах); максимальных значений индекс достигает на юге и востоке Новой Земли. Для Среднесибирского плоскогорья и Новой Земли определяющим фактором является очень высокая льдистость грунта (25-35%), на севере Западной Сибири и крайнем северо-востоке умеренно высокая льдистость грунта (10-25%) сочетается с максимальным увеличением мощности СТС (до 0.5 м и более).

Индекс уязвимости хозяйственных систем

Для оценки экономических рисков был предложен количественный индекс уязвимости хозяйственных систем, который рассчитывается для различных административно-хозяйственных регионов как произведение средних по регионам значений индекса геокриологического риска и оценочной стоимости основных фондов (зданий и сооружений) по формуле (2):

$$Iv = Ie \times Cf \text{ , где} \quad (2)$$

I_e – среднее значение индекса геокриологического риска для рассматриваемого региона; Cf – оценочная стоимость основных фондов (зданий, сооружений) этого региона.

Были рассчитаны значения индекса для 29 муниципальных образований (МО), расположенных в Арктической зоне РФ. Оценка проводилась на муниципальном уровне с учетом опыта коллег, которые предлагали схожие расчеты для определения уязвимости и социально-экономического потенциала хозяйственных систем в регионах Арктики [9,10]. В расчете были использованы данные о стоимости основных фондов (муниципальный жилищный фонд и социально значимые объекты), полученные в результате подбора и анализа материалов Росстата. Классификация уязвимости муниципальных образований приведена в условных относительных единицах для совокупности рассмотренных 29 МО: класс 0 – наименее уязвимые (Iv < 0,001); 1 – малоуязвимые (0,001-0,01), 2 – умеренно уязвимые (0,01-0,1), 3 – сильно уязвимые (0,1-0,5), 4 – наиболее уязвимые (0,5-1,0). Результаты показаны на рисунке 3.

Высокие значения индекса уязвимости хозяйственных систем (0,1-0,5) были выявлены в 3 городских округах (Норильск, Ноябрьск, Воркута) и 2 муниципальных районах (Тазовский, Заполярный). Самыми уязвимыми хозяйственными системами (более 0,5) к изменениям климата оказались муниципалитеты, входящие в состав Ямало-Ненецкого автономного округа (Пуровский, Ямальский и Надымский МО), что связано с высокой оценочной стоимостью основных фондов на территории этих МО, где присутствует большая ориентированность нефте- и газодобывающей промышленности. Лидером по современным и ожидаемым рискам является Пуровский муниципальный район, доля которого во всём объёме добычи газа и нефти в России составляет 38% и 7%, соответственно.

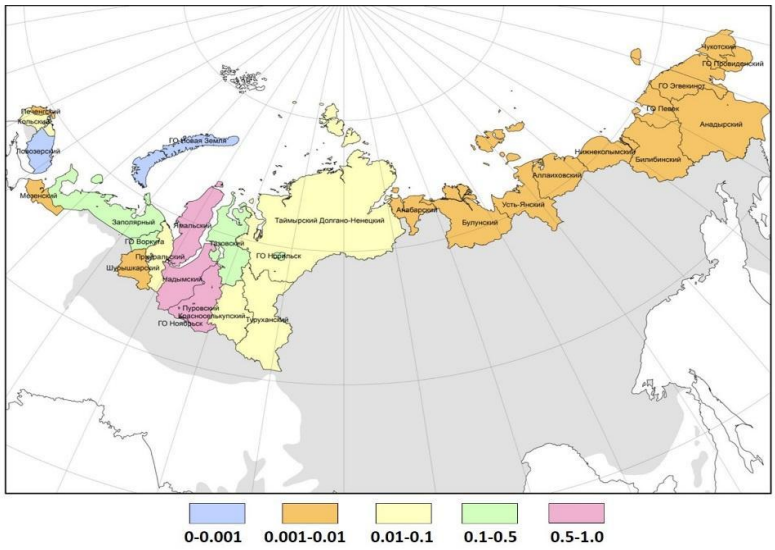


Рис. 3. Карта количественного индекса уязвимости хозяйственных систем

Заключение

Статистически значимые тренды температурных показателей и прогноз климатических показателей на 21 столетие предполагает дальнейшее развитие потепления в Российской Арктике, которое может иметь как позитивные, так и серьезные негативные последствия. Увеличение температуры и мощности слоя сезонного оттаивания многолетнемерзлых грунтов приводит к их деградации и

уменьшению несущей способности, что обуславливает опасные последствия для расположенной на них зданий и линейных сооружений (трубопроводы, дороги, взлетные полосы).

Оценить потенциальный ущерб от идущих в криолитозлоне процессов деградации многолетней мерзлоты для природной среды и экономики региона можно, используя, соответственно, индекс геокриологического риска и индекс уязвимости хозяйственных систем. Эти сведения могут использоваться в качестве основы для планирования мер адаптации экономики и населения Арктики к изменениям глобального климата.

Литература

1. Государственный доклад «Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году» // М.: Минприроды России. НПП «Кадастр». 2020. 1848 с.
2. Arctic Report Card. 2007 - 2019. URL: https://www.arctic.noaa.gov/report-card
3. Порфирьев Б. Н., Воронина С. А., Семикашев В. В., Терентьев Н. Е., Елисеев Д. О., Наумова Ю. В. Последствия изменений климата для экономического роста и развития отдельных секторов экономики российской Арктики // Арктика: экология и экономика. 2017. № 4 (28). С. 4—17.
4. Melamed I. I., Avdeev M. A., Pavlenko V. I., Kutsenko S. Yu. Arkticheskaya zona Rossii v sotsial'no-ekonomicheskom razvitii strany. The Arctic zone of Russia in the context of the socio-economic development of the country. Vlast', 2015, no. 1, pp. 5—11
5. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Об оценках изменений климата регионов России в 20 и начале 21 века по данным наблюдений // Метеорология и Гидрология. 2012. № 6. С. 95-107.
6. Кокорев В.А., Анисимов О.А. Построение оптимизированной ансамблевой климатической проекции для оценки последствий изменений климата на территории России // Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем. 2013. Т. 25. С. 131-133.
7. Анисимов О.А., Кокорев В.А. Об оптимальном выборе гидродинамических моделей для оценки влияния изменений климата на криосферу // Лед и Снег. 2013. Т. 121. С. 83-92.
8. Анисимов О.А., Стрелецкий Д.А. Геокриологические риски при таянии многолетнемерзлых грунтов // АРКТИКА. XXI век. Естественные науки. 2015. № 2 (3). С. 60-74.
9. Бабурин В.Л., Бадина С.В. Оценка социально-экономического потенциала территории, подверженной неблагоприятным и опасным природным явлениям // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 5. С. 9-16.
10. Бабурин В.Л., Бадина С.В. Моделирование и пространственный анализ поля социально-экономического потенциала Российской Арктики // Интеркарто. Интегрис. 2017. 23 (1). С. 27-37.

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ, СВЯЗАННЫХ С ПОДВЕТРЕННЫМИ БУРЯМИ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Шестакова А.А.[1], Репина И.А. [1], Мысленков С.А. [2]
[1] Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия
[2] Географический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

FREQUENCY OF HAZARDOUS WEATHER EVENTS ASSOCIATED WITH DOWNSLOPE WINDSTORMS IN THE RUSSIAN ARCTIC

Shestakova A.A. [1], Repina I.A. [1], Myslenkov S.A.[2]
[1] A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia
[2] Geography Faculty, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

В работе исследуется повторяемость и интенсивность обледенения морских судов, болтанки самолетов и опасного морского волнения во время подветренных бурь в Арктике по данным наблюдений, реанализа и результатам мезомасштабного моделирования.

The paper investigates the frequency and intensity of ship icing, aircraft turbulence and hazardous sea waves during downslope windstorms in the Arctic based on observational data, reanalysis and the results of mesoscale numerical modeling.

Подветренными бурями называются сильные ветра, которые формируются при обтекании воздушным потоком гор. Классическими примерами подветренных бурь являются бора и фён. В Арктике известны подветренные бури на Новой Земле [6], в Певеке (Чукотка) [3], а также на некоторых склонах архипелага Шпицберген [10], в Тикси и на о. Врангеля [2, 12]. Детальная климатология этих ветров проанализирована в недавней работе [12]. В то же время в аспекте сопутствующих им опасных явлений погоды, таких как обледенение морских судов и сильная турбулентность над горами, вызывающая опасную болтанку самолетов, а также опасного морского волнения арктические подветренные бури ранее не рассматривались.

В данной работе исследуется повторяемость и интенсивность потенциального обледенения судов, опасной болтанки самолетов и морского волнения по данным наблюдений, арктического реанализа ASR v.2 и результатов численного моделирования с использованием атмосферной модели WRF-ARW и модели волнения WaveWatch III.

Обледенение судов

Во время подветренных бурь на подветренной стороне гор значительно усиливается ветер и резко меняется температура, что создает предпосылки для возникновения обледенения судов, преимущественно за счет забрызгивания морской воды. Для всех районов с подветренными бурями были проанализированы случаи обледенения по данным судовых наблюдений из архива ICOADS3 за период 1966-2019 гг. Для оценки повторяемости условий, благоприятных для обледенения, во время подветренных бурь по данным реанализа были проведены расчеты интенсивности обледенения *dh/dt* по методу Overland, усовершенствованному позже и изложенному в работе [11] (где он называется “Overland bulk 2”). Анализ данных наблюдений и реанализа показал, что наибольшая повторяемость условий для обледенения среди всех подветренных бурь отмечается для новоземельской боры и бури на Шпицбергене (Рис.1). При этом степень обледенения характеризуется в подавляющем большинстве случаев как легкая, а доля случаев с обледенением (от общего количества сроков с борой) не превышает 8%. На о. Врангеля, в Тикси и в Певеке обледенение практически не отмечается. Результаты

моделирования позволяют сделать вывод о том, что из-за небольшого распространения подветренных бурь в море их влияние на скорость обледенения невелика. Опасное обледенение вблизи побережья было обнаружено только для новоземельской боры.

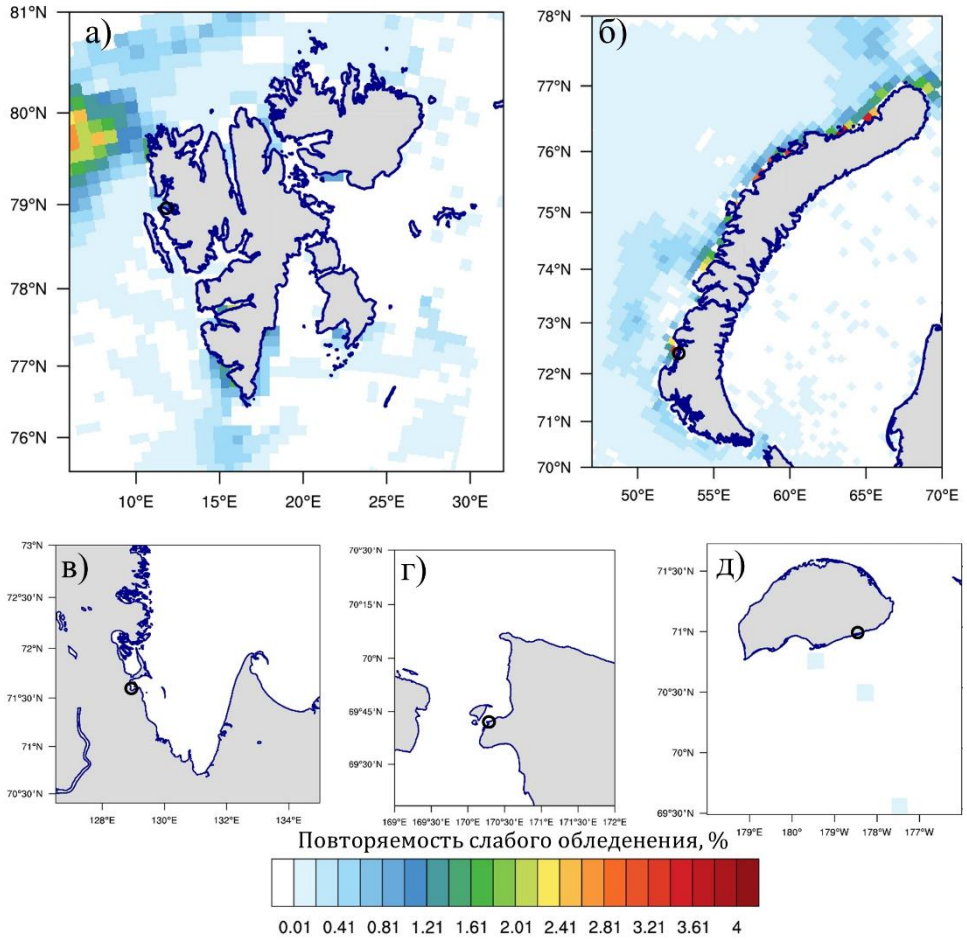


Рис.1 Повторяемость слабого обледенения (в % от общего числа сроков с подветренными бурями) во время подветренных бурь в Ню-Олесунне (а), Малых Кармакулах (б), Тикси (в), Певеке (г) и на о. Врангеля (д) по данным реанализа ASR v.2 за период 2000-2016 гг. Положение метеостанций показано кружком

Болтанка самолетов

Возможная болтанка самолетов при подветренных бурях оценивалась по двум параметрам - изменению угла атаки $\Delta\alpha$ и вертикальной перегрузке Δn – использованных в работах [1, 4, 5, 8]. Главной переменной величиной при расчете этих параметров является вертикальная скорость, которая при подветренных бурях может достигать больших значений. Правильное воспроизведение вертикальной скорости над горами возможно только при высоком разрешении модели (с шагом сетки, позволяющим точно воспроизводить параметры рельефа), поэтому $\Delta\alpha$ и Δn оценивались по результатам моделирования отдельных случаев. Для расчетов критериев болтанки мы использовали значения скорости и эмпирического коэффициента для легкомоторного самолета, так как эшелоны скоростных самолетов расположены на большой высоте, а влияние боры обычно распространяется на нижнюю и иногда среднюю тропосферу.

Результаты моделирования позволили выявить наличие опасной и экстремально опасной для легкомоторных самолетов болтанки во время подветренных бурь, особенно интенсивной во время сильных эпизодов бурь. Опасные значения вертикальной перегрузки и изменения угла атаки выявлены во всех районах; они

возникают в нижней тропосфере над подветренными склонами хребтов, где отмечаются сильные нисходящие и восходящие движения, а также на удалении от хребтов при подветренных волнах.

Опасное волнение

Локальные прибрежные ветры могут также приводить к значительному локальному увеличению высоты ветрового волнения [9, 13]. Анализ данных спутниковых альтиметрических наблюдений за период 1985-1988 и 1991-2018 показал, что высота значительных волн вблизи архипелага в среднем не превышает 2-3 м, что значительно выше климатического значения в этом районе [7]. На Рис.2 показаны все спутниковые наблюдения (всего 5352) во время боры вблизи западного побережья Новой Земли, на расстоянии до 100 км от берега. Из всех наблюдений только дважды высота значительных волн во время боры у побережья превышала 6 м, 5 раз – 5 м и 18 раз – 4 м. Такая сравнительно небольшая повторяемость высоких волн связана, во-первых, с коротким разгоном, а во-вторых с быстрым убыванием скорости ветра во время боры и каньонных ветров по мере удаления от берега.

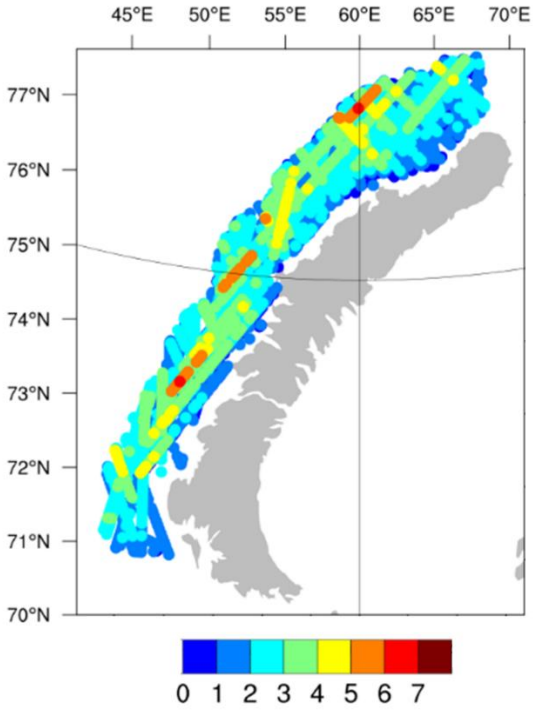


Рис.2 Высота значительных волн (м) вблизи западного побережья Новой Земли (до 100 км) во время боры по данным альтиметров

Дополнительно проводилось моделирование атмосферы и морского волнения с высоким разрешением двух эпизодов сильной боры. Численные эксперименты подтверждают вывод о невысокой повторяемости высоких волн при боре, сделанный на основе данных спутниковых наблюдений. Даже при длительном и сильном ветровом форсинге (скорость ветра более 30 м/с) из-за ограниченного разгона высота значительных волн, вызванных действием боры, не превышала 5 м. Тем не менее на относительно небольшом расстоянии от берега отмечаются волны высотой 3-4 м (что подтверждается и спутниковыми данными, Рис.2).

Литература

[1] Беданоков, М. К., Берзегова, Р. Б. Орографические возмущения атмосферы и опасность полетов самолётов в горах. Успехи современной науки, 2016, 2(3), 141-145.

[2] Брязгин, Н.Н., Дементьев, А.А. Опасные метеорологические явления в Российской Арктике. Л.: - Гидрометиздат, 1996, 150 с.
[3] Зимич П. И. Певекский южак / под ред. А.А. Дмитриева, Л.: Гидрометеоиздат, 1991, 120 с.
[4] Кожевников, В. Н., Мемариан, М. Х. Орографические возмущения и проблема безопасности полетов над горами Ирана. Проблемы анализа риска, 2006, 3(4), 346-361.
[5] Кожевников, В. Н., Павленко, А. П. Возмущения атмосферы над горами и безопасность полетов. Изв. РАН. ФАО, 1993, 29(3).
[6] Мастерских М.А. К прогнозу фронтальной боры на Новой Земле. Труды Гидрометцентра СССР, 1978, 199, 73-77
[7] Мысленков С.А., Маркина М.Ю., Архипкин В.С., Тилинина Н.Д. Повторяемость штормового волнения в Баренцевом море в условиях современного климата. Вестник Московского университета. Серия 5: География, 2019, 2, 45-54.
[8] Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов. М.: Транспорт, 1990, 32 с.
[9] Langodan, S., Cavaleri, L., Viswanadhapalli, Y., Hoteit, I. The Red Sea: a natural laboratory for wind and wave modeling. J. Phys. Oceanogr., 2014, 44(12), 3139-3159
[10] Maciejowski, W., Michniewski, A. Variations in weather on the east and west coasts of South Spitsbergen, Svalbard. Polish Polar Research, 2007, 28(2), 123-136
[11] Samuelsen, E. M., Edvardsen, K., Graversen, R. G. Modelled and observed sea-spray icing in Arctic-Norwegian waters. Cold Regions Science and Technology, 2017, 134, 54-81.
[12] Shestakova, A. A., Toropov, P. A., Matveeva, T. A. Climatology of extreme downslope windstorms in the Russian Arctic. Weather Clim. Extremes, 2020, 28, 100256
[13] Toropov, P. A., Myslenkov, S. A., Shestakova, A. A. Numerical simulation of Novorossiysk bora and related wind waves using the WRF-ARW and SWAN models. Russ. J. Earth Sci. 2012, 12(6)

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕКИ ЛЕНА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Ширалиева О.Н. [1], Гуришкина Н.В. [2], Мякишева Н.В. [3], д-р г-ф наук
[1] Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Мурманск, Россия
[2] Филиал Республиканского Государственного предприятия на праве хозяйственного ведения "Казгидромет" по Акмолинской области Министерства Экологии, Геологии и Природных ресурсов Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан
[3] Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

WATER REGIME OF THE LENA RIVER IN MODERN CLIMATIC CONDITIONS

Shiralieva O. N. [1], Goryshkina N. V. [2], Myakisheva N. V. [3], doctor of science
[1] Murmansk Department of Hydrometeorology and environmental monitoring, Murmansk, Russia
[2] Branch of the Republican State enterprise on the right of economic management "Kazhydromet" in the Akmola region of the Ministry of Ecology, Geology and Natural resources of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan
[3] Russian state hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

Проведен вероятностный анализ внутригодовой и многолетней изменчивости стока р. Лена в условиях современного климата с применением теории случайных процессов. Показано, что в результате потепления климата в конце 1980-х - начале 1990-х годов в осенне-зимний период наблюдается увеличения стока в эти же месяцы года с конца 1990-х.

A probabilistic analysis of the intra-annual and long-term variability of the Lena river runoff in the current climate using the theory of random processes is carried out. It is shown that as a result of climate warming in the late 1980s and early 1990s, in the autumn-winter period, there is an increase in runoff in the same months of the year since the late 1990s.

Введение

Якутия – одна из наиболее богатых реками субъектов Российской Федерации, по объёму годового речного стока она уступает только Красноярскому краю. Важной водной артерией Якутии считается река Лена, она служит хозяйственным стержнем республики и вместе со своими главными притоками – Алданом и Вилюем образует основную систему ее водных путей. Река используется для потребительских нужд сельского хозяйства, для судоходства, рыболовства и рекреации. Для обеспечения указанных потребностей в воде, необходимо иметь сведения о режиме речного стока в условиях изменяющегося климата, что и является целью настоящей работы.

Материалы и методы

Речной сток рассматривался как вероятностный полициклический процесс с основными энергонесущими зонами в диапазонах частот, соответствующим многолетним и внутригодовым колебаниям.

Для анализа многолетней изменчивости использовались ряды среднегодовых расходов и ежегодные последовательности значений для всех месяцев года, которые рассматривались как случайные процессы. Привлекался квантильный анализ данных и методы низкочастотной фильтрации Баттерворта [6,7].

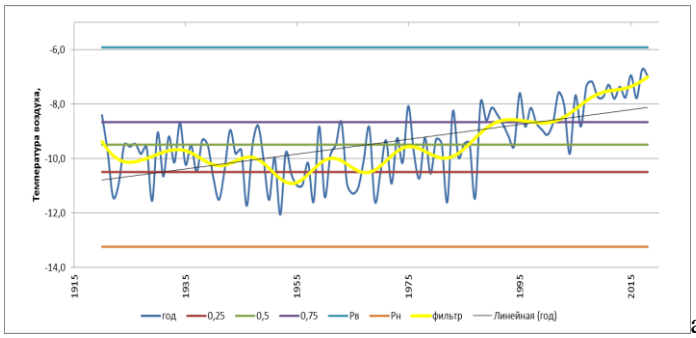
Для выявления особенностей внутригодовых колебаний использовались ряды среднемесячных расходов, интерпретируемые как периодически коррелированные

случайные процессы. Для обобщения результатов анализа привлекались вероятностные модели в терминах, которых оценивалось влияние геологических особенностей водосбора на водный режим реки.

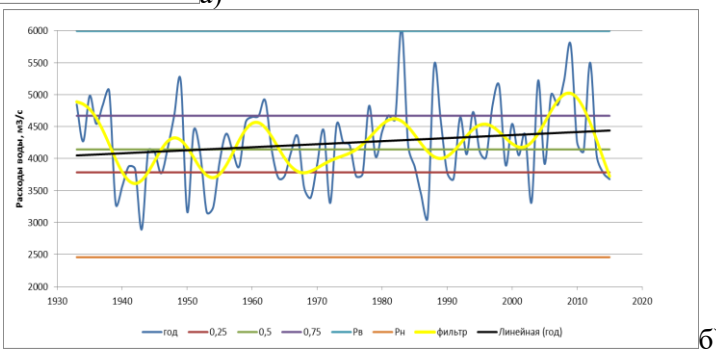
В работе использовались данные по расходам воды по наблюдениям на следующих гидропостах Росгидромета: г.п. Крестовский и с. Солянка за период с 1934 по 2015гг, с. Табага за период с 1927 по 2015гг и с. Кюсюр за период с 1935 по 2011гг [1-5]. Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и температуре воздуха по наблюдениям на метеостанциях Якутск за период с 1920 по 2018гг, Олекминск за период с 1929 по 2017 гг, Ленск за период с 1941 по 2016 гг. База данных была сформирована преимущественно с помощью публикаций издательств Гидрометеоиздат.

Многолетние колебания водности реки

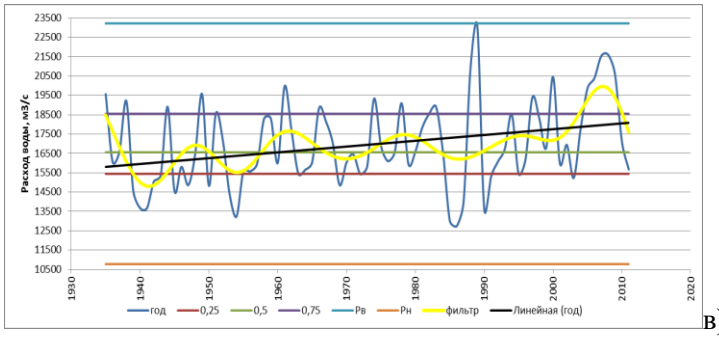
Для оценки водности реки производился расчет квантилей, результаты которого приведенные на рисунки 1. Экстремально-многоводные условия наблюдались в 1983 году в верхнем и среднем течении реки (Крестовский, Солянка и Табага) и в 1989 – в нижнем течении (Кюсюр)



а)



б)



в)

Рис.1. Квантильная диаграмма средних годовых расходов воды и температуры воздуха. Результаты линейной и низкочастотной фильтрации Баттерворта
а) г.Якутск; б) г.п.Крестовский; в) с.Кюсюр

Для расходов воды во всех пунктах наблюдений характерен тренд на увеличение стока, который согласуется с трендом среднегодовой температуры воздуха. Для объяснения выявленного тренда привлекались ежегодные значения расходов воды для всех месяцев года. Наиболее интенсивное их увеличение наблюдается для зимне-весеннего периода (с сентября по апрель) в нижнем (Кюсюр) и среднем (Солянка и Табага) течении реки с конца 1990-х годов.

Анализ ежегодной последовательности значений температуры воздуха, показал их интенсивное повышение с конца 1980-х годов. Это привело к оттаиванию многолетнемерзлых пород и подземного льда и формированию зимнего подземного стока. Аналогичных изменений в атмосферных осадках не наблюдалось.

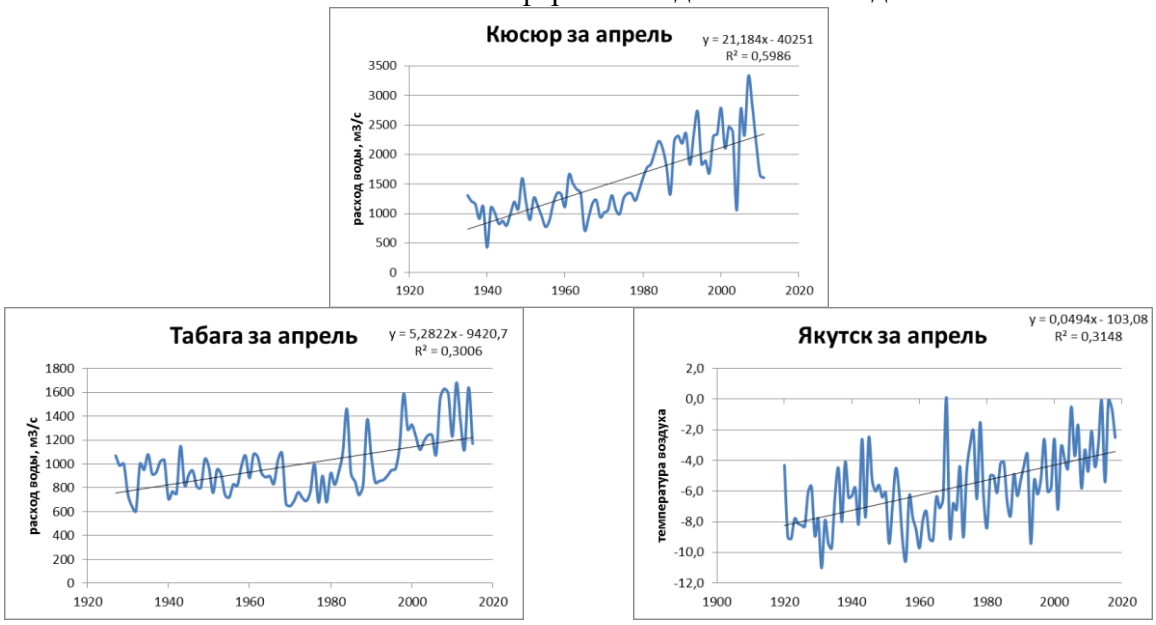


Рис.2. Графики среднемесячных расходов и температуры воздуха за многолетний период.
а) с. Кюсюр, б) с. Табага и в) г. Якутск

Внутригодовые колебания речного стока

Для внутригодовых колебаний водности реки Лена характерны основные фазы водного режима, присущие рекам восточно-сибирского типа, а именно: очень низкая зимняя межень, высокое весеннее половодье и частые летние паводки.

Обобщение результатов анализа внутригодовых и межгодовых колебаний выполнено в терминах вероятностной модели, представленной следующим уравнением:

$$\boldsymbol{\beta}_{1t}=\varphi_{i,1}\boldsymbol{\beta}_{i,\,t-1}+\varphi_{i,\,2}\boldsymbol{\beta}_{i+1,\,t-1}+\boldsymbol{\varepsilon}_{it}+\mathbf{m}_i,\ i=1,\ \ldots,\ 12,\ t=1,\ 2,\ \ldots\ N \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{\beta}$ – ежегодные подпоследовательности значений для каждого месяца, каждая подпоследовательность описывается моделью авторегрессии первого порядка;

$\mathbf{m}=\{m_1,\ \ldots,\ m_{12}\}$ – вектор математического ожидания процесса;

φ_1 и φ_2 - параметры авторегрессии первого порядка, характеризующими корреляционные зависимости внутригодовой и межгодовой изменчивости для каждого месяца года;

$\boldsymbol{\varepsilon}_t=\{\varepsilon_{1,\,t},\ \ldots\ \varepsilon_{12,\,t}\}$ – вектор белого шума с нулевым средним и дисперсией $\delta^2=\{\delta^2_1,\ \ldots,\ \delta^2_{12}\}$.

Модель описывает ритмику годовой цикличности с учетом внутригодовой и межгодовой коррелированности. Алгоритм анализа рядов среднемесячных значений основан на выделении подпоследовательностей ежегодных значений для каждого

месяца года, что позволяет рассматривать процесс как 12-мерный случайный вектор. Параметры φ_1 и φ_2 оцениваются по корреляционным зависимостям внутригодовой и межгодовой изменчивости.

Численные значения параметров модели 1 приведены в таблице 1. Параметр φ_1, характеризующий коррелированность ежегодных расходов воды для всех месяцев года, значим в период осенне-зимней межени для всех пунктов, что отражает наличие трендов в этих последовательностях (декабрь-февраль в верхнем течении и сентябрь-апрель в среднем и нижнем течении).

Таблица 1

Численные значения параметров авторегрессии φ1 внутригодового и φ2 многолетнего хода стока

Характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Лена – г.п. Крестовский												
φ_1	0,91	0,93	0,45	0,28	-0,20	0,40	0,38	0,51	0,74	0,53	0,54	0,87
φ_2	0,31	0,37	0,54	0,20	-0,05	0,03	-0,02	0,19	0,15	0,04	0,14	0,32
р. Лена – с. Солянка												
φ_1	0,90	0,93	0,57	0,43	-0,07	0,44	0,38	0,50	0,74	0,64	0,76	0,80
φ_2	0,36	0,36	0,48	0,20	0,16	0,09	0,05	0,27	0,16	0,18	0,45	0,36
р. Лена – с. Табага												
φ_1	0,89	0,93	0,90	0,62	-0,11	0,49	0,41	0,43	0,72	0,59	0,65	0,79
φ_2	0,52	0,55	0,68	0,63	0,30	0,18	0,08	0,23	0,14	0,23	0,52	0,48
р. Лена – с. Кюсюр												
φ_1	0,92	0,96	0,97	0,46	-0,14	0,25	0,43	0,47	0,69	0,55	0,73	0,85
φ_2	0,73	0,78	0,73	0,76	0,26	-0,07	-0,14	0,17	0,27	0,24	0,40	0,55

Разница значимых параметров в верхнем, среднем и нижнем течении реки Лена может быть обусловлена неравномерностью расположения известняковых пород, образующих карст.

Выводы

Среднегодовые расходы реки Лена имеют тренд на увеличение. Это связано с оттаиванием многолетнемерзлых пород и подземного льда, что приводит к появлению зимнего подземного стока.

Внутригодовое распределение стока отражает особенности водного режима рек восточно-сибирского типа.

Естественной причиной зарегулированности стока является наличие карста в верхнем и среднем течение на рассматриваемой территории.

Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17, Лено-Индигирский район [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1972 – 848 с.

2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 17. Лено-Индигирский район – Л.: Гидрометеоиздат, Л., 1967, 1975, 1979.

3. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, Том 17, Лено-Индигирский район [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1988 – 706 с.

4. Гидрологический ежегодник. Бассейн Лены (верхнее течение) Том 15, 1927-80 г.г.; Том 1 Выпуск 15, 1981-1993 г.г. Л., Свердловск, Обнинск.

5. Государственный водный кадастр. Раздел 1. Поверхностные воды. Серия 2. Ежегодные данные. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1. Реки и каналы. Часть 2. Озера и водохранилища. Том 1 РСФСР. Выпуск 16. Бассейны Лены (среднее и нижнее течение), Хатанги, Анабара, Оленека, Яны, Индигирки, Алазея – Обнинск: ВНИИНМИ-МИД, 1981-1993.

6. Мякишева Н.В., Речной сток [Текст]// Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрометеорологические условия. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. – Т.III.Вып.1. – С.196-214

7. Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А. Вероятностный анализ и моделирование речного стока водосборного бассейна Балтийского моря [Текст]//Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в Балтийском море – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – С.16-34

О.В.ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЙИИ НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Ширшова И.Ю., Задонская О.В.
Московский Государственный институт им.М.В.Ломоносова, г.Москва, Россия
Государственный Гидрологический Институт, г. Санкт-Петербург, Россия

SPECIFICITES IN THE WATER LEGISLATION OF THE RUSSIAN FEDERATION BY EXAMPLES OF LENINGRAD REGION LAKES

Shirshova I.Y., Zadonskaya O.V.
Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

Водный кодекс (ВК) Российской Федерации был принят Государственной Думой 12 апреля 2006 года и определяет нормы, регулирующие отношения по использованию и охране водных объектов. В нем прописаны основные принципы таких отношений: значимость водных объектов в качестве основы жизни и деятельности человека, приоритеты охраны водных объектов перед их использованием, сохранение особо охраняемых водных объектов и т.д. Водные объекты в зависимости от особенностей их режима, физико-географических, морфометрических и других особенностей подразделяются на поверхностные и подземные. Поверхностные водные объекты состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии.

В статье 8 ВК РФ указано, что все водные объекты, кроме таких объектов, как обводненный карьер и пруд, находятся в собственности Российской Федерации. Систематизированным сводом документированных сведений о водных объектах, находящихся в федеральной или иной собственности, согласно ст.31 ВК РФ, является государственный водный реестр (ГВР). Однако в настоящее время в ГВР занесена лишь незначительная часть водных объектов нашей страны. В связи с активным строительством и освоением территорий, особенно вблизи таких мегаполисов, как Москва и Санкт-Петербург, возникают многочисленные вопросы, связанные с использованием водных объектов, определением их границ по береговой линии, а также охранных зон, связанных с ограничением в использовании земель.

На примере двух районов Ленинградской области – Приозерского и Выборгского – был составлен каталог, в котором указаны все водоемы, площадью больше 10 км2, находящиеся на данной территории. По результатам анализа полученных данных выяснилось, что из 1473 обнаруженных водоемов в ГВР занесены всего 37 (8,9%) в Приозерском районе и 86 (8,1%) в Выборгском районе. На рисунке 1 представлена карта, на которой обозначены водоемы, занесенные в ГВР и нет.

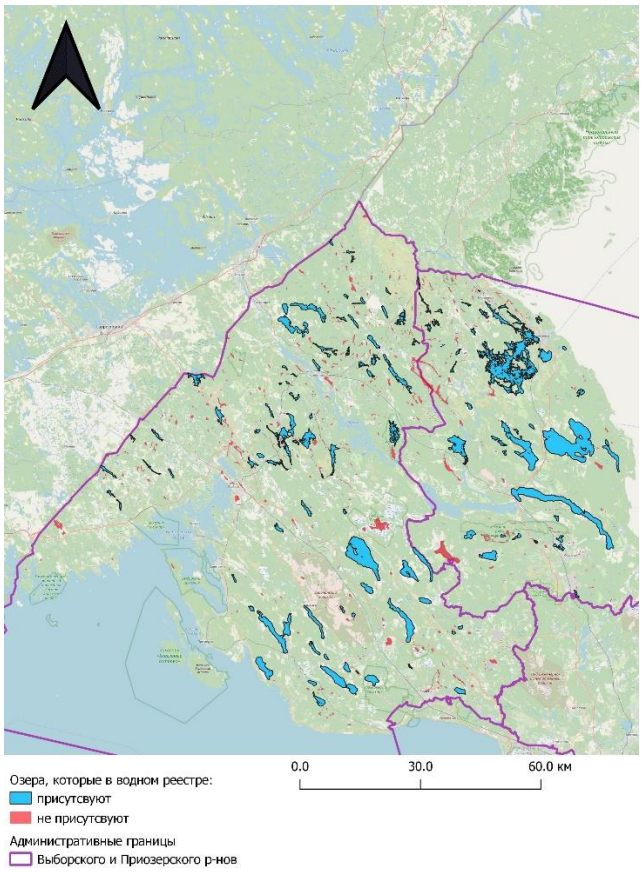


Рис.1 Карта водоёмов, занесенных и незанесенных в водный реестр на территории Выборгского и Приозерского районов

Проблема отсутствия водных объектов в ГВР, в первую очередь, поднимается в судебной практике, так как огромное количество судебных дел связано именно с неправомерным образованием земельных участков на водных объектах или их частях. Согласно ст.102 Земельного кодекса землям, покрытым поверхностными водами должен быть присвоен статус земель водного фонда. На землях, покрытых поверхностными водами, не осуществляется образование земельных участков.

В представленной работе были использованы открытые векторные данные OSM [openstreetmap.org], космические снимки, находящиеся в свободном доступе. Был составлен каталог водоемов для двух районов Ленинградской области (Выборгского и Приозерского). С помощью открытого программного обеспечения QGIS была создана карта водоемов с разделением их на те, что внесены в ГВР и нет.

Предложенная методика демонстрирует способ определения водных объектов в административных границах отдельных районов для подготовки данных для дальнейшего внесения их в водный реестр. Результаты работы указывают на необходимость проведения аналогичных работ для других районов Ленинградской области, а также иных субъектов РФ.

Литература:

"Водный кодекс Российской Федерации" от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 24.04.2020) (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.06.2020)

"Земельный кодекс Российской Федерации" от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 15.10.2020)

www.openstreetmap.org

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ И УСТЬЕВ РЕК

Шишкина О.Д.
ФИЦ Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

STUDY OF COASTAL HYDRODYNAMICS IN THE INTERACTION OF MARGINAL SEAS AND RIVER MOUTHS

Shishkina O.D.
FRC Institute of Applied Physics RAS, Nizhny Novgorod, Russia

На базе теории формирования краевых внутренних волн в материковой шельфовой зоне исследованы прибрежные процессы в зонах речного стока в морскую среду.

On the basis of the theory of formation of edge internal waves in the continental shelf zone, the coastal processes of the zone of intrusion of river flow into the sea water are studied.

Особенности пространственной трансформации нелинейных внутренних волн на донных неоднородностях шельфовой зоны исследовались автором ранее [1-3]. В данной работе результаты проведенных исследований использованы для определения характера изменения нелинейных внутренних волн в области взаимодействия речного стока с морской средой.

На основании методики [3] исследуем район, известный интенсивной генерацией внутренних волн большой амплитуды в результате интенсивного стока пресной речной воды в океан. Таким районом является, в частности, устье реки Колумбия (США) [4].

Один из примеров наблюдения такого гидрофизического явления со спутника представлен на Рис. 1.

В процессе распространения цуга нелинейных внутренних волн от источника их генерации движение над мелководной частью шельфа глубиной $H_S < 50$ м продолжает только головная волна. Далее головной солитон на этом участке шельфовой зоны движется вдоль береговой линии перпендикулярно кромке шельфа без существенных изменений формы волнового фронта.

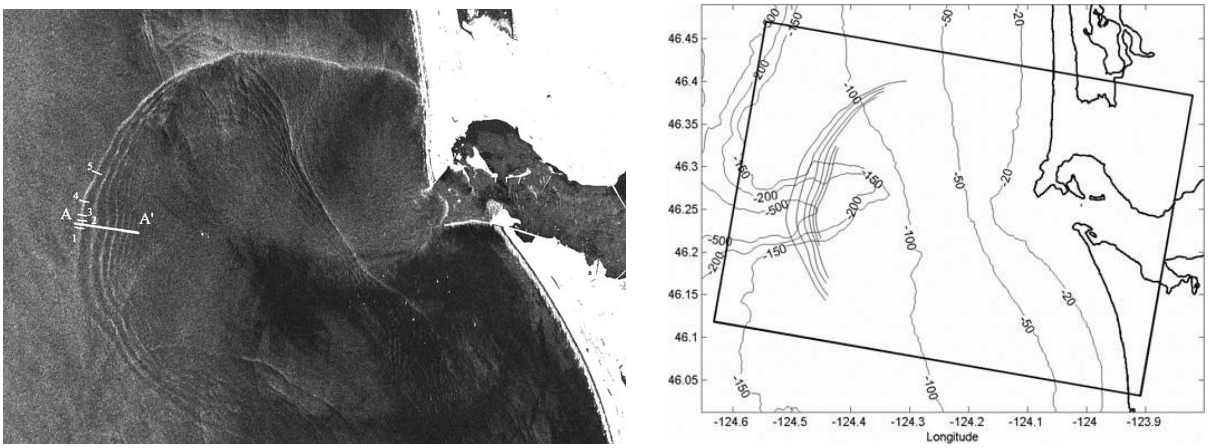


Рис. 1. Спутниковый снимок внутренних волн RADARSAT-1 от 26 июля 2004 г (слева) и структура рельефа дна (справа) вблизи устья р. Колумбия [4].

Известно, что в аналогичной гидрологической ситуации солитоны внутренних волн, генерируемые приливом вблизи пролива Гибралтар, активно взаимодействуют с мелководной зоной шельфа [1]. При этом над шельфом происходит трансформация

квазиплоских уединенных внутренних волн с проявлением пространственных краевых эффектов – периодических сдвиговых течений, либо короткопериодных внутренних волн, движущихся от берега перпендикулярно траектории движения исходной волны.

Вынужденные периодические течения наблюдаются в слое, расположенном между пикноклином и дном шельфа, при прохождении вдоль его кромки внутреннего солитона понижения («мелкий» шельф). Вследствие неразрывности жидкости опускающийся у кромки шельфа пикноклин индуцирует горизонтальное сдвиговое течение с периодом, равным периоду проходящей внутренней волны.

Вторичная волновая система формируется при заглублении пикноклина на глубину, достаточную для формирования над дном шельфа вторичного «положительного» солитона, вершина которого направлена к свободной поверхности. В этом случае разнонаправленные уединенные волны формируют скачок плотности жидкости над кромкой шельфа. Движение такого внутреннего скачка плотности вдоль берега, в свою очередь, индуцирует поперечное волновое движение от берега в сторону глубоководной части шельфа. Эти вторичные возмущения пикноклина формируются в виде короткопериодных линейных внутренних волн («глубокий» шельф).

Проведем оценку вероятности появления аналогичных эффектов в исследуемом районе устья реки Колумбия с использованием данным проведенных ранее исследований [5].

Глубоководная акватория.

Для описания исходного солитона, формируемого речным стоком, используем уравнение Бенджамина-Оно для двуслойной жидкости с бесконечно глубоким нижним слоем. Для вторичного краевого солитона, формирующегося над шельфом, применимо уравнени Кортевега-де Вриза (КдВ). Значения амплитуды первичного солитона η^*, при котором возможно формирование КдВ солитона в двуслойной жидкости с однородными слоями [2]:

$$1+\frac{3}{8}\frac{\eta}{h_1}=\frac{h_{2S}}{\eta}\sqrt{\frac{h_{2S}}{H_S}} \quad , \tag{1}$$

где η - амплитуда солитона, H_S - глубина двуслойной жидкости над шельфом, h_1 - толщина верхнего однородного слоя, h_{1S} - толщина верхнего однородного слоя над шельфом h_{2S} - толщина нижнего слоя над шельфом.

Значения "критической" амплитуды η^*, при которых гидродинамический режим на шельфе изменяется с «мелкого» на «глубокий» [1], определяют корни квадратного уравнения (1):

$$\eta^*_{1,2}=\frac{-b\pm\sqrt{D}}{2a}=-\frac{b}{2a}\pm\frac{\sqrt{D}}{2a}=-\frac{4}{3}h_1\left(1\mp\sqrt{1+\frac{3}{2}\frac{h_{2S}}{h_1}\sqrt{\frac{h_{2S}}{H_S}}}\right). \tag{2}$$

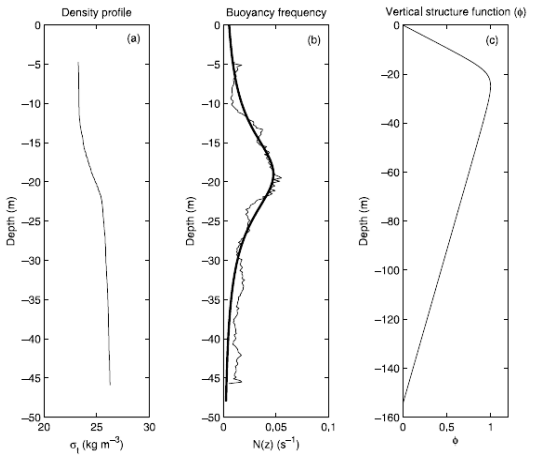


Рис. 2. Вертикальные профили плотности, частоты Брента-Вяйсяля и 1-й волновой моды в зоне речного стока р. Колумбия [4].

Характерные гидрологические параметры для натурных условий исследуемой акватории (Рис. 2): H = 150 м, h_1 = 20 м, h_2 = 130 м, $H_S = h_1 + h_{2S}$ = 50 м, h_{2S} = 30 м. При $h_1 < h_{2S}$ над шельфом должен формироваться солитон понижения. Рассчитанное по формулам (1 - 3) значение «критической» амплитуды исходного солитона, при которой возможна его пространственная трансформация в мелководной части шельфовой зоны, составит η^*_1 = -17,5 м.

По данным, приведенным в [5], такая амплитуда головной внутренней волны $\eta^*_1 \sim$ -17 м наблюдались в устьевой зоне 27 мая 2001 года (Рис. 3). На спутниковом снимке, кроме течения речного стока (в центре снимка), наблюдаются интенсивные сдвиговые течения вблизи волновых фронтов (обозначены цветными линиями на снимке).

Данная информация согласуется с сезонными закономерностями процессов трансформации внутренних солитонов над шельфом, выявленных автором в [1]. Когда аналогичные гидрофизические процессы проявляются в шельфовой зоне в весенний и осенний периоды при формировании схожих гидрологических условий.

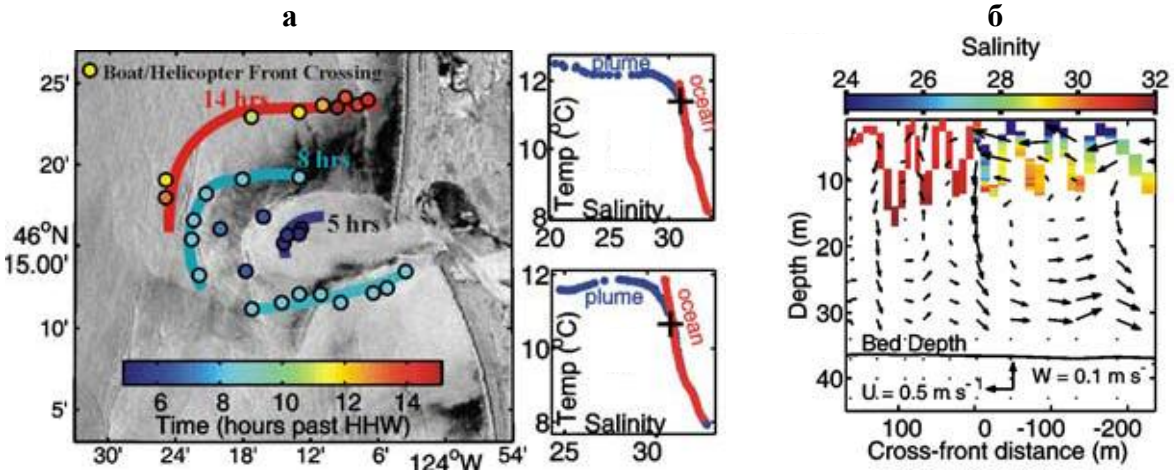


Рис. 3. Натурные данные исследования акватории вблизи устья р. Колумбия 27 мая 2001 г.:
а - снимок со спутника RADARSAT-1; б – вариации солености при прохождении внутренних волн [5].

Мелководная акватория.

В случае, если длина внутренних волн сравнима с толщинами верхнего и нижнего квазиод- нородных слоев, исходный солитон описывается уравнением для полностью нелинейных внутренних волн [6]. Для вторичного солитона применимо уравнение КдВ.

В такой постановке выражение для определения «критической» амплитуды исходного солитона η^* в безразмерных переменных получено в [3]:

$$K_{2S}\left(1+A_1K_{h1}+A_2\left(K_{h1}\right)^2+A_3\left(K_{h1}\right)^3+A_4\left(K_{h1}\right)^4+O\left(\eta^5\right)\right)=\sqrt{\frac{K_H}{K_2}}\,, \qquad (3)$$

где $K_h=h_2/h_1$, $K_2=h_2/h_{2S}$, $K_H=H/H_S$, $K_{2S}=\eta/h_{2S}$, $K_{h1}=\eta/h_1$,

$$\alpha^*=-\frac{3}{2}\cdot\frac{1-K_h}{K_h}\frac{1}{h_1}=A_1\frac{1}{h_1};\qquad \alpha_1^*=-\frac{3}{8}\cdot\frac{(1+K_h)^2+4K_h}{K_h^2}\frac{1}{h_1^2}=A_2\frac{1}{h_1^2};$$

$$\alpha_2^*=-\frac{3}{16}\cdot\frac{(1+K_h)(1-K_h^2)}{K_h^3}\frac{1}{h_1^3}=A_3\frac{1}{h_1^3};\qquad \alpha_3^*=-\frac{15}{128}\cdot\frac{\left(1-K_h^2\right)^2}{K_h^4}\frac{1}{h_1^4}=A_4\frac{1}{h_1^4}.$$

Для определения значения критической амплитуды набегающей волны η^* можно построить графики решения уравнения (3) при известных коэффициентах в правой части, определяемых фоновой гидрологией и батиметрией исследуемой акватории (Рис. 4).

Здесь приведен график решения уравнения (3) для двух различных сочетаний гидрологических параметров акватории в районе устья реки Колумбия (Рис. 1). Графический анализ показывает, что уравнение не имеет решения в случае распространения первичного солитона в приповерхностном пикноклине, удаленном от дна мелководной зоны шельфа $K_h=h_2/h_1=9$ (черная линия на графике). При приближении пикноклина к дну шельфа уравнение (3) будет иметь решение при соответствующем соотношении амплитуды исходного солитона и гидрологических параметров глубоководной и мелководной зон.

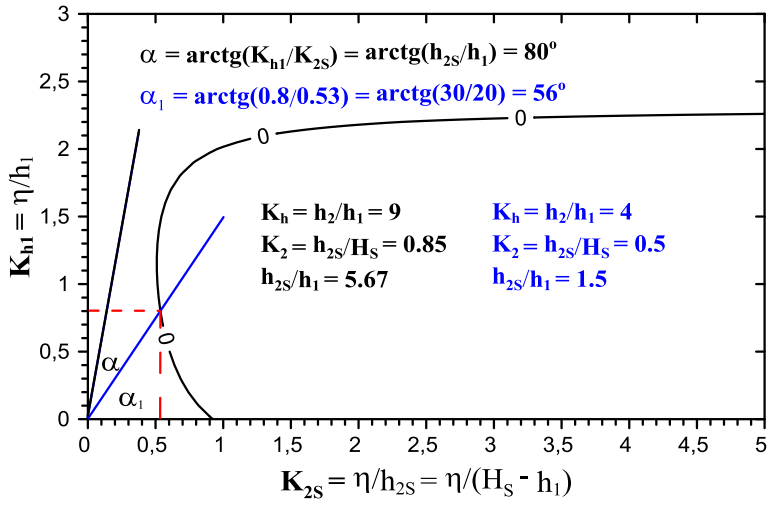


Рис. 4. График решения уравнения (3).

Уравнение (3) в безразмерных переменных позволяет, при отсутствии данных об амплитуде генерируемых речным стоком внутренних волн, определить

гидрологические условия, при которых возможно проявление краевых эффектов уединенных внутренних волн при их движении вдоль берега от устьевого створа.

Работа автора финансируется за счет средств государственного задания (программа № 0035-2019-0007).

Литература

1. Shishkina O.D., Sveen J. K., Grue J.: Transformation of internal solitary waves at the "deep" and "shallow" shelf: satellite observations and laboratory experiment. Nonlin. Proc. Geophys. 2013. V. 20. No. 5. P. 743–757.
2. Шишкина О.Д. Определение условий трехмерной трансформации нелинейных внутренних волн по типу "мелкого" и "глубокого" шельфа: теория, натурные наблюдения, эксперимент. Труды XIII Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики».– С.-Пб. 2016. 516 с. С. 177–180.
3. Шишкина О.Д. Линейные и нелинейные механизмы пространственной трансформации внутренних волн на шельфе с горизонтальным и наклонным дном. Труды III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – С.-Пб. 2019. 1023 с. С. 995–999.
4. Pan J., Jay D.A., Orton P.M. Analyses of internal solitary waves generated at the Columbia River plume front using SAR imagery. J. Geophys. Res. 2007. V. 112. P. C07014–C07024.
5. Orton P.M., Jay D.A. Observations at the tidal plume front of a high-volume river outflow. Geophysical Research Letters. 2005. V. 32. No 11. P. L11605 – L11608.
6. Zahibo N. et al. Strongly nonlinear steepening of long interfacial waves. Nonlin. Proc. Geophys. 2007. V. 14. P. 247–256.

ТВЕРДЫЙ СТОК ПРИТОКОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Шмакова М.В.
ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

SOLID FLOW OF TRIBUTARIES OF LADOGA LAKE

Shmakova M.V.
Institute of Limnology RAS, Saint-Petersburg, Russia

Процессы эвтрофирования южных литоральных областей Ладоги определяют актуальность оценки выноса твердого вещества рек в устьевые области притоков озера. Согласно результатам моделирования, сток наносов притоков составляет около 432 тыс. т/год.

Eutrophication processes in the southern littoral regions Ladoga determine the relevance of assessing the removal of solid matter from rivers to the estuaries of the lake's tributaries. According to the simulation results, the flow of tributary sediments is about 432·10^3 t/year.

Введение. Сложно переоценить значение Ладожского озера как географического объекта и хозяйственную востребованность его водосборной площади ведущими отраслями промышленных предприятий северо-западного региона РФ и Финляндии. Хозяйственная освоенность водосбора Ладоги с 70-х годов прошлого столетия привела к интенсификации процессов эвторофирования мелководных областей акватории Ладожского озера в местах впадения его основных притоков. Согласно исследованию [1] большинство литоральных станций Ладожского озера характеризуются мезотрофным (11 станций) и эвтрофным (12 станций) трофическим статусом и только две станции относятся к олиготрофным [1]. Наиболее эвтрофированная область расположена в южной части Ладожского озера в месте влияния вод реки Волхов. Все это определяет актуальность оценки выноса твердого вещества о стоком рек в устьевые области притоков Ладожского озера. Целью настоящей работы является оценка стока наносов притоков Ладожского озера по данным наблюдений за твердым стоком на реках-аналогах.

Объект исследования. Обширный водосбор Ладожского озера характеризуется многообразием типов подстилающей поверхности и сложной гидрографической сетью. Северная часть водосбора приходится на область распространения Балтийского кристаллического щита, характеризующегося гранитами и гнейсами [2]. Также эта часть водосбора характеризуется большим количеством озер и болот. Озера оказывают регулирующее влияние на сток наносов, осаждая последние в своей толще по причине замедленного водообмена. С юга к Балтийскому кристаллическому щиту примыкает Русская равнина, сложенная глинами, известняками, песчаниками и доломитами [2]. Эта территория также характеризуется большим процентом заболоченных земель, но меньшей в сравнении с северной частью озерностью [2]. Всего на водосборе Ладожского озера выделяется четыре частных водосбора – Ильмень-Волховский, Онежско-Свирский, Саймо-Вуоксинский и частный водосбор Ладожского озера [3]. Каждый из этих водосборов имеет свои физико-географические особенности, определяющие интенсивность почвенной эрозии и условия формирования твердого стока на водосборе [3].

Общая площадь водосбора основных притоков Ладожского озера (табл. 1) составляет 248232 км^2, что соответствует 88 % всей площади водосбора Ладожского озера (282700 км^2). Таким образом, продукты почвенной эрозии водосбора и русловых переформирований поступают в акваторию водоема преимущественно со стоком

притоков. Схема расположения основных притоков Ладожского озера, для которых оценивались сток наносов и мутность воды в них, приведена на рис. 1.

Таблица 1. Основные притоки Ладожского озера и их характеристики

№	Приток	Длина водотока, Км	Площадь водосбора, км^2	Среднемноголетний расход воды, м^3/с	Средний уклон водотока, б/р
1	Вуокса	143	68501	645	0.00043
2	Янисйоки	95	3861	45.5	0.00065
3	Видлица	67	1320	11.8	0.001087
4	Олонка	87	2620	35.0	0.00076
5	Свирь	224	84400	790	0.000134
6	Сясь	260	7330	63.7	0.00093
7	Волхов	224	80200	590	0.0000625

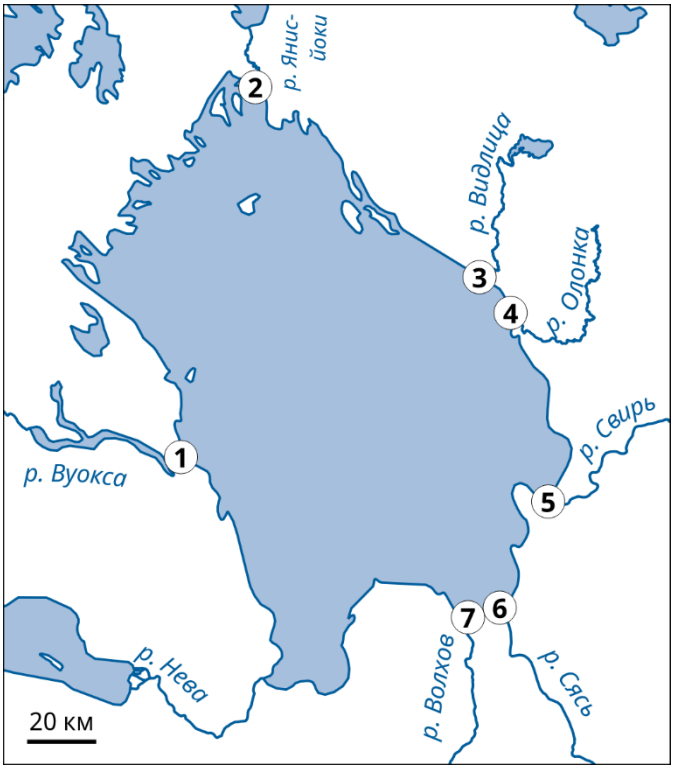


Рис. 1. Расположение основных притоков Ладожского озера

Наблюдения за стоком наносов на притоках Ладожского озера не проводились. Исключение составляют эпизодические непродолжительные наблюдения на гидрометрических створах р. Олонка – г. Олонец (1953 и 1956 гг.) и р. Свирь – с. Мятусово (1945 и 1948 гг.), которые за основу оценки твердого стока быть приняты не могут. В этой связи для каждого притока были подобраны реки-аналоги, основными критериями соответствия при подборе которых послужили уклон, крупность донных отложений и площадь водосбора (водность).

В табл. 2 приведен список гидрометрических створов основных притоков и соответствующие им аналоги и их характеристики. Для гидрометрического створа р. Олонка – г. Олонец проводились редкие наблюдения за твердым стоком, которые в

основном охватывают период межени и средней водности. Для периода большой водности для этого водотока также назначен створ-аналог.

Таблица 2. Основные притоки Ладожского озера и их аналоги

Реки и гидрометрические створы		Площадь водосбора, км^2		Уклон *I*, б/р		Донный грунт в створе	
притоки Ладожского озера	реки-аналоги	приток Ладоги	река-аналог	приток Ладоги	река-аналог	приток Ладоги	река-аналог
Вуокса – X ГЭС	р. Мста – с. Березовский Рядок	61500	5180	0.000430	0.00066	песок, галька, валуны	галька
Янисйоки – п. Хямекоски	р. Мста – с. Березовский Рядок	3650	5180	0.00065	0.00066	камни, галька	галька
Видлица – с. Б. Горы	р. Паша – с. Часовенское	977	5710	0.001087	0.0009	песок	песок
Олонка – г. Олонец	р. Мга – д. Горы	2120	709	0.00076	0.00061	песок, валуны	песок, галька
Свирь – XII ГЭС	р. Нева – г. Петрокрепость	67100	–	0.000134	0.0005	песок, ил	песок, камни
Сясь – д. Яхново	р. Оять – д. Шангиничи	6230	4930	0.00093	0.00097	песок, валуны	песок
Волхов – VI ГЭС	р. Нева – г. Петрокрепость	79800	–	0.0000625	0.0005	песок, гравий, валуны	песок, камни

Методы и модели. Расчеты твердого стока и мутности воды притоков проводились по методам и моделям, разработанным в ИНОЗ РАН (аналитическая формула общего расхода наносов и Стохастическая модель годового твердого стока) [4]. Аналитическая формула расхода наносов и формула мутности воды имеют вид [4]

$$G = \frac{\rho_{гр}}{\rho_{гр} - \rho_{в}} Q \left[\frac{c}{hg} - (1 - f)\rho_{в} I \right], \quad (1)$$

$$S = 10^3 \frac{G}{Q} = 10^3 \frac{\rho_{гр}}{\rho_{гр} - \rho_{в}} \left[\frac{c}{hg} - (1 - f)\rho_{в} I \right], \quad (2)$$

где G – общий расход наносов, кг/с; S – мутность воды, г/м^3; Q – расход воды, м^3/с; $\rho_{гр}$ и $\rho_{в}$ – плотность грунта и воды соответственно, кг/м^3; I – уклон дна, б/р; h – средняя глубина потока, м; f – коэффициент внутреннего трения, б/р (допускается значение f>1); c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с^2); g – ускорение свободного падения, м/с^2. Параметры f и c формул (1) и (2) зависят от фазы водности водотока и крупности донных отложений [4].

Модель годового твердого стока рек разработана в Институте озероведения РАН (Свидетельство о государственной регистрации № 2014612518 от 27.02.2014) [4]. Модель стохастическая, предназначена для решения задач, связанных с количественной оценкой годового твердого стока и основана на композиционном

методе теории вероятности и аналитической формуле расхода наносов (формуле мутности воды). Композиционный метод теории вероятности позволяет оценить параметры распределения функции через параметры распределения аргументов. Аргументами модели являются расход воды и средняя глубина потока, функцией – расход наносов.

Результаты. Всего для каждого водотока были сгенерированы ряды значений суточного расхода воды продолжительностью 100 лет, которые были пересчитаны в ряды значений расхода наносов и мутности воды. В качестве количественных ориентиров при расчетах мутности воды приняты данные наблюдений за мутностью воды на исследуемых водотоках, проводимых сотрудниками Института озероведения РАН в период 2011 – 2019 годы [5].

Согласно результатам вычислений, с основными притоками (с 88 % водосборной площади Ладожского озера) в Ладогу поступает около 380 тыс. тонн речных наносов в год. Если привести рассчитанное значение к общей площади водосбора Ладоги, то получится, что за год в озеро поступает 432 тыс. т/год. Основной вклад в поступление наносов в акваторию Ладожского озера осуществляют водотоки с наибольшей водностью – Свирь, Вуокса и Волхов. Однако на эти же водотоки приходится и наименьший годовой модуль твердого стока, что объясняется удержанием наносов зонами подпора перед плотинами ГЭС на этих реках и как следствие, уменьшением общего расхода наносов.

Анализ годового модуля твердого стока показал хорошее соответствие полученных значений этой величины и условий формирования твердого стока на водосборе, характеристик его почво-грунтов. Водосборы рек Сясь и Волхова относятся к Ильмень-Волховскому частному водосбору Ладоги, реки Свири – к Онежско-Свирскому, реки Вуоксы – к Саймо-Вуоксинскому, рек Видлицы и Олонки – к северо-восточной части частного водосбора, реки Янис-Йоки – к северной части частного водосбора.

При этом, для водосборов, расположенных в западной и северной частях (водосборы рек Янис-Йоки и Вуокса) характерен большой процент озерности и заболоченности территории. Это, совместно с трудноразмываемыми породами Балтийского кристаллического щита определяет и сравнительно небольшие значения мутности и модуля твердого стока на реках, расположенных в пределах этой территории. Восточная часть водосбора Ладожского озера (бассейны рек Свирь, Олонка и Видлица) расположена на южном склоне Балтийского щита, рельеф которого характеризуется чередованием скалистых гряд и межгрядовых понижений, заполненных глинами, суглинками и супесями [6]. Благоприятные для размыва почвы этой территории определяют и сравнительно высокие значения годового модуля твердого стока. Южная часть водосбора Ладожского озера (бассейны рек Волхов и Сясь) расположена на Русской плите. Совместно сельскохозяйственным освоением земель и легкоразмываемыми почвообразующими грунтами значения годового модуля твердого стока рек также достаточно высоки для северо-западного региона и для реки Сясь достигают 10 т/(км^2·год). Средний по водосбору Ладожского озера годовой модуль твердого стока равен 1.53 т/(км^2·год), что хорошо соответствует оценке этой величины для рассматриваемой территории, приведенной в монографии [6].

Работа выполнена при финансовом обеспечении за счет средств федерального бюджета в рамках темы № 0154-2019-0001 “Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов”.

Литература

1. Ладога / Ред. В.А. Румянцев, С.А. Кондратьев. СПб: Нестор-история, 2013. 468 С.

2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Карелия и Северо-Запад, том 2, часть 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 528 с.
3. Алябина Г.А., Сорокин И.Н. Бассейн Ладожского озера как источник воздействия на экологическое состояние озера // Региональная экология. 2010. № 4 (30). С. 27-35.
4. Шмакова М.В. К вопросу о расчетах расхода взвешенных наносов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 1. С. 50-71.
5. Разработка и совершенствование научных, технических, методических и правовых основ с целью сохранения Ладожского озера как геостратегического объекта питьевого водоснабжения федерального значения на основе комплексных исследований: Отчет о НИР по теме Плана НИР ИНОЗ РАН на 2013-2019 гг. № 0154-2014-0003 (закл.) / ИНОЗ РАН; рук. В.А. Румянцев, Ш.Р. Поздняков. – СПб, 2018. – Часть 1. – 199 с. – № ГР 01201363379.
6. Сток наносов, его изучение и географическое распределение / Под ред. А. В. Караушева. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 240 с.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ РИСК-АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Юмашева А.К., Харыбина А.С.,. Аковецкий В.Г
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

APPLICATION OF A COMPREHENSIVE RISK ANALYSIS METHODOLOGY FOR ASSESSMENT THE RISKS OF ARCTIC CONTINENTAL PLATE GEOECOLOGICAL HYDROCARBON FIELDS

Yumasheva A.K., Kharybina A.S., Akovetsky V.G.
Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russia

Подверженность углеводородных месторождений Арктического региона одновременно различным группам рисков обуславливает необходимость синергетического подхода и применению комплексной методики оценки рисков.

The simultaneous exposure of hydrocarbon deposits in the Arctic region to various risk groups necessitates a synergistic approach and the use of a comprehensive risk assessment methodology.

Необходимость в ресурсах приводит к большему вовлечению Арктического региона в экономическое развитие, и прежде всего морские районы, где добыча углеводородов становится важнее транспортной функции и использования биологических ресурсов.

В мировой практике добычи нефти и газа Арктический регион не имеет аналогов, поэтому требуются новые подходы к анализу рисков, которые возникают в процессе эксплуатации месторождений. Но исследования, посвященные геоэкологическим проблемам региона, относятся в основном к континентальной части. [1]

Цель исследования: создание прототипа карты геоэкологических рисков Арктического шельфа Российской Федерации.

Для достижения намеченной цели в ходе работы предполагается решение следующих задач:

1. Оценить региональные особенности территории Арктического шельфа;
2. Определить риски, которые могут возникнуть при эксплуатации месторождений нефти и газа Арктического шельфа;
3. На основе опыта использования методов риск-анализа в научных исследованиях разработать комплексную методику анализа риск-факторов.

Исследуемая территория: Баренцево море, Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, Чукотское море.

Предрасположенность углеводородных месторождений Арктического региона одновременно к различным группам рисков обуславливает необходимость комплексного и синергетического подхода к их анализу и определению методов минимизации на каждой стадии реализации проектов по разработке месторождений. [2]

Во многих статьях указано, что применение различных методов к одному и тому же проекту будут дополнять друг друга, так в данной работе **составлена методика, которая включает в себя 3 различных способа анализа рисков для Арктического региона: матрица рисков, swot-анализ и диаграмма bow-tie.**

Основные этапы проведенного риск-анализа включают:

1. Формирование SWOT-таблицы. Выявление факторов внутренней среды (разделение на сильные, слабые стороны, несущие возможности и несущие угрозы).

2. Ранжирование значимости факторов. Отсев малозначимых и маловероятных факторов, как не имеющих практической значимости. Составление матрицы рисков, выявление более негативных рисков.

3. Формирование по матрице рисков диаграммы bow-tie, по которой сделаны предложения по минимизации рисков, возникающих при эксплуатации месторождений Арктического шельфа.

4. Составление таблицы барьеров Арктического региона по минимизации негативных последствий.

Особенность рисков в регионе – взаимосвязь их формы проявления, неоднородный характер. Поэтому на первом этапе был выделен ряд основных факторов для Арктического региона, что позволило сформировать SWOT-анализ, представленный в таблице 1.

Таблица 1. SWOT-анализ Арктического шельфа

Сильные стороны	Возможности
1. Район уникальных морских биологических, топливно-энергетических и минерально-сырьевых ресурсов, значительная часть которых относится к стратегическим ресурсам страны.	1. Транспортировка; 2. Арктический шельф как лаборатория инновационных проектов (ориентирована на экспериментирование в целях понижения затрат и обретения большей устойчивости); 3. Арктическая зона России является крупным полигоном развития фундаментальных и прикладных научных исследований в различных областях знаний; 4. Организация официальных полигонов ТБО и наличием мусороперерабатывающих заводов; 5. Разработки и обустройство морских месторождений УВ; 6. Взаимовыгодное сотрудничество с зарубежными научными институтами.
Слабые стороны	Угрозы
1. Утечки из резервуаров для хранения нефтепродуктов, располагающихся на суше или утечки из трубопроводов в береговой зоне; 2. Близкое расположение особо охраняемых природных территорий (ООПТ); 3. Изношенность оборудования, устаревшие технологии;	1. Расположение области за Полярным кругом (наличие полярного дня и полярной ночи); 2. Изменчивость климатических показателей. Высокая магнитная активность; 3. Наличие газогидратов; 4. Многолетнемерзлые породы;

4. Фонтанные скважины во время подводной разведки или добычи; 5. Выбросы или утечки из подводных трубопроводов; 6. Аварии на атомных подводных лодках и атомных ледоколов; 7. Затопленные объекты с отработавшим ядерным топливом, аварийное состояние хранилищ радиоактивных отходов; 8. Сейсмически активные зоны; 9. Загрязнение атмосферы химическими веществами при обустройстве и эксплуатации месторождений; 10. Человеческий фактор (ошибки персонала); 11. Слабая несущая способность донных грунтов	5. Дрейфующие льды, ледовый покров; 6. Сложность проведения рекультивации морского дна; 7. Сокращение видов животных.

Для составления матрицы рисков будут использованы только ячейки «слабые стороны» и «угрозы», на основе ячейки «возможности» будут предложены методы по минимизации рисков. Затем каждый риск будет отнесен к определённой категории.

Построение матрицы рисков выполнялось в программе Excel.Для построения сначала берем 14 основных риск-факторов, выявленных в swot-анализе. Распределяем их по матрице в соответствии со шкалой «степени риска» и «вероятности возникновения». Шаг каждой ячейки по шкале равна 1 баллу, максимально – 5. (рисунок 1)

		шаг -1 балл	баллы						РИСК-ФАКТОРЫ		
		критическая	5			8	12		1- утечка углеводородов из хранилищ	6- проблема ТКО	11- ледовые условия
		очень высокая	4		14		3	7	2- авария при транспортировке углеводородов	7 - изношенность оборудования, отказ оборудования	12 - климатические условия
	степень	высокая	3		13,5				3- наличие газогидратов	8 - сокращение видов морских животных	13- человеческий фактор(ошибки персонала)
		средняя	2		4			11, 12	4-сейсмическая активность	9 - многолетнемерзлые породы	14 - слабая несущая способность донных грунтов
		низкая	1			6	10	9	5-захоронение ядерных отходов	10- близкое расположение ООПТ	
				1	2	3	4	5			
				0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%			
				Вероятность возникновения							

Рис. 1. Матрица рисков

Чтобы рассчитать категорию риск-фактора, задается формула 1:

$$\text{Степень тяжести риска} \times \text{Вероятность возникновения} = \text{Категория риска} \quad (1)$$

Значения «Степени тяжести риска» задаются по вертикали, «Вероятность возникновения» - по горизонтали.

Например, риск №3, расположенный в желтом поле, имеет значение по шкале «степени риска» равное 4, а по шкале «вероятности возникновения» – 4, в итоге получаем значение 16, которое относится к категории «высокий». Так рассчитываем каждый риск-фактор.

Следующем шагом, сравниваем полученное значение со значением в таблице на рисунке 2. Итог по расчёту матрицы рисков отражен в таблице 2.

Категория риска	Оценка	Мероприятия
Незначительный	1-3	Мероприятия не требуются
Малый	4-6	Мероприятия не обязательны. За ситуацией надо следить, чтобы риск был управляемым
Средний	7-9	Необходимо осуществить мероприятия по снижению риска. Если риск имеет серьезные последствия, необходимо более точно вычислить вероятность опасного события
Высокий	10-16	Обязательные срочные мероприятия по снижению риска
Катастрофический	17-25	Обязательные мероприятия по ликвидации риска. Работа в условиях риска должна быть немедленно прекращена и возобновлена только после ликвидации риска

Рис. 1. Таблица категории рисков

Таблица 2. Категории рисков

Пункт	Баллы	Категория	Пункт	Баллы	Категория
1	20	Катастрофический	8	15	Высокий
2	20	Катастрофический	9	5	Малый
3	16	Высокий	10	4	Малый
4	4	Малый	11	10	Высокий
5	6	Малый	12	10	Высокий
6	3	Незначительный	13	6	Малый
7	20	Катастрофический	14	8	Средний

Таким образом, пункт 6 соответствует критерию «незначительный риск», а пункты 4, 5, 9, 10, 13 соответствуют критерию «малый риск», поэтому они не учитываются при составлении диаграммы bow-tie.

Для остальных рисков построена диаграмма bow-tie, которая показана на рисунке 3. В центре диаграммы (в узле галстука-бабочки) располагается главный риск – Авария на месторождении. Далее, в процессе анализа, выстроены причинно-следственные связи между факторами риска и его последствиями. На модели слева обозначены факторы (красный цвет), а справа – последствия реализации риска (голубой). Так как факторов и последствий для каждого риска много, то диаграмма обретает форму галстука бабочки (рисунок 3а). Далее были определены барьеры (желтый цвет) рисунок 3б, которые предназначены для снижения вероятности наступления риска и тяжести его последствий, они отображены на обеих ветвях диаграммы.

Рис. 3. Диаграмма BOW-TIE, а) без барьеров безопасности / б) с барьерами безопасности

Барьеры на правой ветви направлены на смягчение последствий в случае реализации риска. Слева – направлены на снижение вероятности возникновения риска. Барьеры значительно повышают практическую значимость метода, так как позволяют формировать факторы защиты.

По диаграмме была составлена таблица (таблица 3) с примером описания барьеров, по анализу снижения угроз проявления рисков, мер их предотвращения и их последствий. Такие таблицы активно используются в нефтегазовых копаниях.

Таблица 3. Анализ угроз и мер по снижению вероятности события

Опасность и угроза	Меры по снижению вероятности события	Барьер для региона новый или существующий	Результа-тивность барьера: В-высокая С-средняя Н-низкая
Авария при транспортировке углеводородов	1. Отказ от использования судами тяжёлого судового топлива (флотского мазута) и переход на альтернативные виды топлива. 2. Разработка мер по локализации и ликвидации последствий аварии.	существующий	С
Наличие газогидратов	1. Комплексное геоинформационное моделирование опасных природных процессов.	существующий	С
Изношенность оборудования	1. Планирование и проведение наблюдений установленных технологий (мониторинг).	существующий	С

В результате работы был проведен анализ риск-факторов, возникающих при эксплуатации месторождений. Даже несмотря на комплексное применение методов, все равно преобладает неточность данной методики, поэтому такой принцип работы может применяться с более точными моделями прогнозирования.

Также для реализации метода необходимо привлечение больших массивов информации, что требует значительных затрат, иначе аналитики будут оценивать важные факторы, не имея достоверной информации о них. Проведение качественного анализа требует привлечения достаточно большого количества специалистов из соответствующих областей.

Литература

1. Чапарин А. Н. Оценка экологического риска и его отображение в ГИС в интересах ЖКХ промышленных территорий: Автореф. дисс. канд. тех. наук – М.: Москва – 2013 – 24с
2. Воронина Е.П. Анализ рисков при реализации проектов освоения нефтегазовых ресурсов Арктического шельфа - М.: Региональные проблемы преобразования экономики- 2012 - 10с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЗАПРИПАЙНЫХ ПОЛЫНЬЕЙ КАРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Юлин А.В., Павлова Е.А.,. Кашкова В.С, Шевелёва Т. В.
Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. Санкт-Петербург, Россия

RESEARCH OF REGIME OF FLAW POLYNYAS IN THE KARA SEA IN WINTER PERIOD

A.V. Yulin, E.A. Pavlova, V.S. Kashkova, T.V. Sheveleva

Представлен анализ данных судовых и вертолётных наблюдений о расположении и характеристиках айсбергов, полученных в экспедициях на акватории арктических морей с 2012 по 2018 гг. Предложены подходы к анализу имеющейся информации.

The analysis of ship and helicopter observations on the location and characteristics of icebergs, as well as in expeditions in the Arctic seas from 2012 to 2018, is presented. The proposed approaches to the analysis of available information.

Заприпайные полыньи — пространства чистой воды и молодых льдов, расположенные за кромкой припая и образующиеся в результате действия отжимных ветров, играют огромную роль в режиме арктических морей и являются важнейшим элементом для навигации в зимний период [1,2]. Участки открытой воды заприпайных полыней значительно увеличивают интенсивность теплообмена между океаном и атмосферой [2, 3]. Кроме того, замерзающие льды играют большую роль в увеличении льда в зимний период [2, 4].

Наблюдения за полыньями арктических морей в ААНИИ ведутся несколько десятилетий и с увеличением интенсивности навигации в зимний период потребность в мониторинге динамики полыней возрастает. Карское море — район наиболее активной зимней навигации, характерной особенностью которого является наличие крупных стационарных полыней. Объём и точность данных наблюдений за заприпайными полыньями Карского моря существенно возрос с 1973 г., с увеличением интенсивности плавания судов на Енисей в зимний период (с октября по май), и с появлением спутниковой информации [5]. В работе [5] В. П. Карклиным и И.Д. Карелиным были приведены результаты многолетних наблюдений за заприпайными полыньями арктических морей, в том числе Карского моря, с 1980 по 2009 гг. В данном докладе приведены результаты статистических исследований стационарных полыней Карского моря в современный период — последние 10 лет. Что позволило нам оценить динамику изменения основных характеристик заприпайных полыней Карского моря.

Ниже, на рисунке 1 представлена схема расположения заприпайных полыней Карского моря [5].

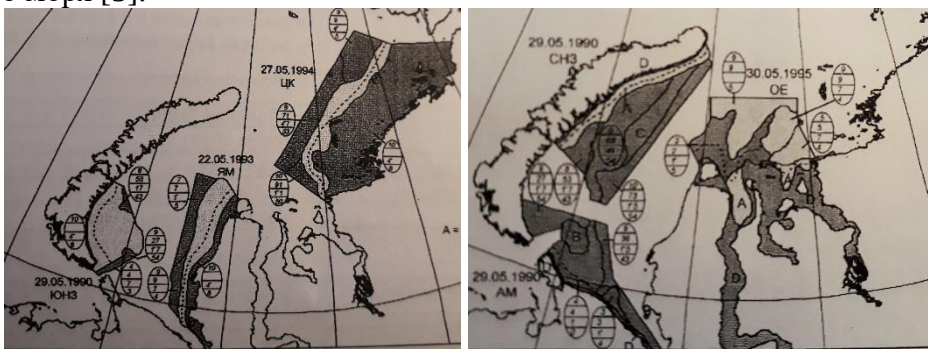
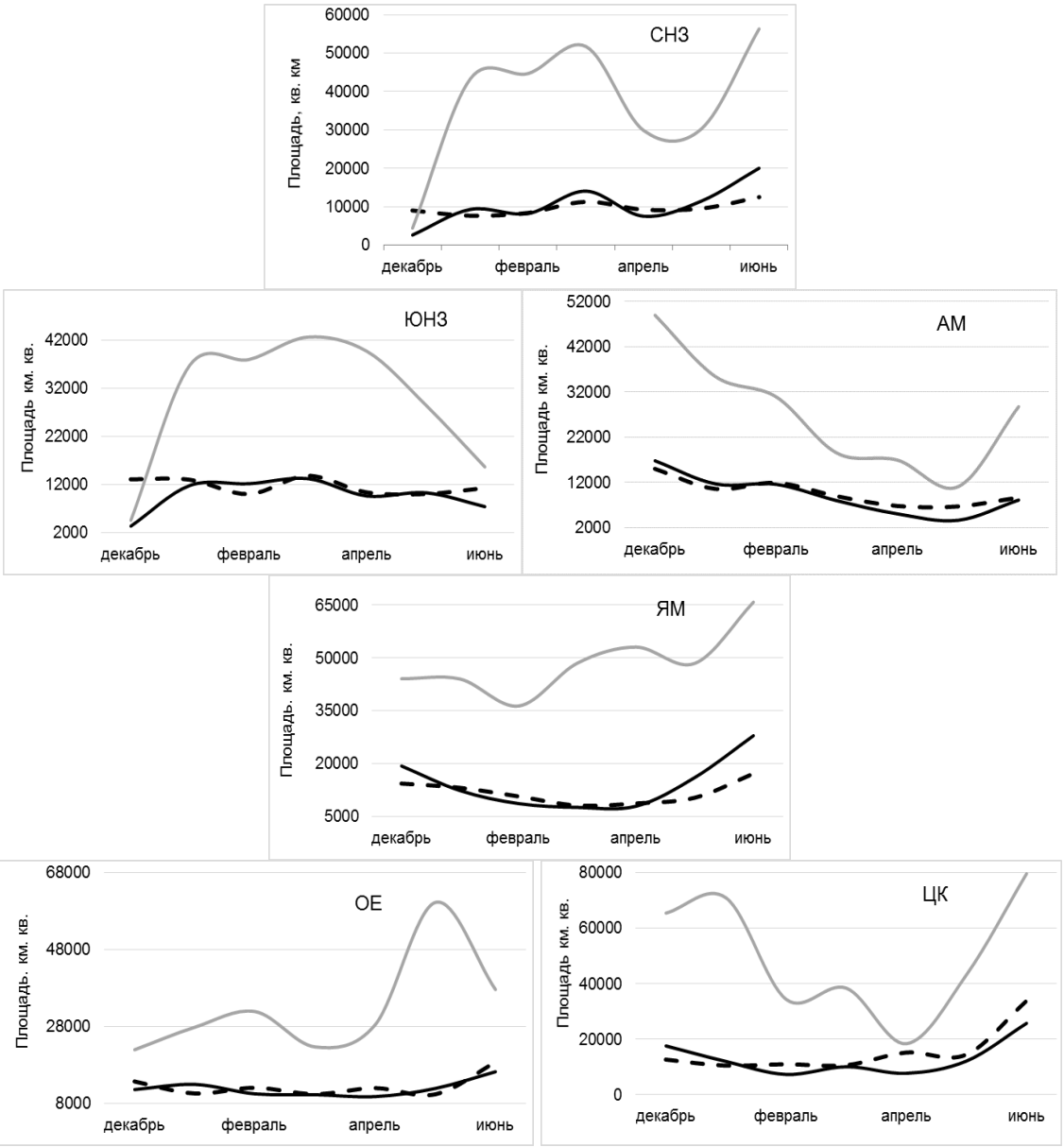


Рисунок 1 – Схема расположения заприпайных полыней Карского моря [5]

В данном докладе приведены данные расчётов характеристик заприпайных полыней, полученных в результате обработки ледовых карт ААНИИ в формате SIGRID-3 [6].

Ниже, на рисунке 2 приведены средние значения площади полыней Карского моря за многолетний период с 1980 по 2009 гг. и современный климатический период с 2010 по 2019 гг. Также на рисунке приведены кривые максимальных значений площади полыней за период с 2010 по 2019 гг. Кривые максимальных значений показывают амплитуду межгодовой изменчивости площади полыней, которая позволяет корректно оценить изменчивость характеристики относительно средних многолетних значений.



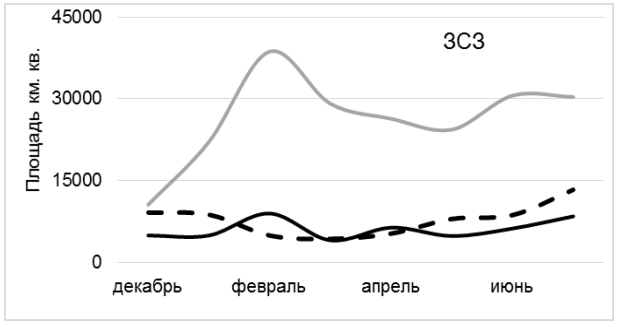
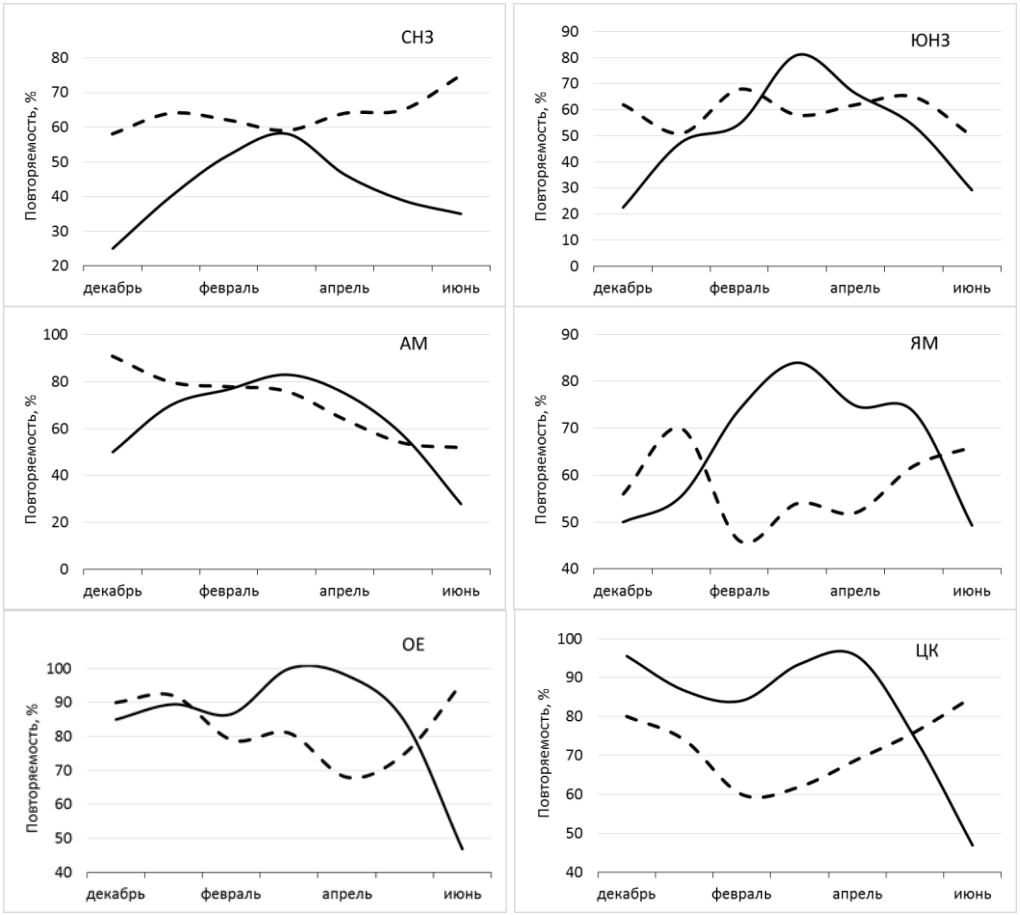


Рисунок 2 – Площади полыней Карского моря
Чёрная сплошная кривая — средние значения 2010 — 2019 гг.; серая кривая — максимальные значения 2010 — 2019 гг.; чёрная пунктирная линия — средние значения 1980 — 2009 гг.

На рисунке 2 видно, что рассмотренные площади полыней Карского моря в среднем за последние десять лет незначительно отличаются от средних многолетних значений (1980 — 2009 гг.). Однако, кривая максимальных за последние 10 лет значений достаточно близко подходит к кривой средних многолетних значений (апрель — Центральная Карская полынья, май — Амдерминская). Северная и Южная Новоземельские полыньи в начале холодного периода — в декабре — в среднем были значительно меньше многолетних значений.

В дополнение к оценке изменения площади важной характеристикой является оценка изменения повторяемости полыней. На рисунке 3 показаны

На рисунке 3 представлены кривые средних значений повторяемости полыней Карского моря за многолетний период с 1980 по 2009 гг. и современный климатический период с 2010 по 2019 гг.



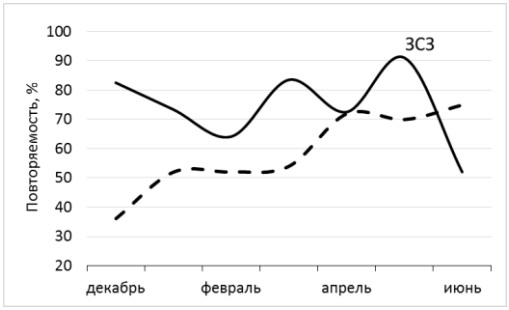


Рисунок 3 – Повторяемость полыней Карского моря
Чёрная сплошная кривая — средние значения 2010 — 2019 гг.; чёрная пунктирная линия — средние значения 1980 — 2009 гг.

Из рисунка 3 видно, что характер повторяемости полыней достаточно сильно изменился. Значительно увеличилась повторяемость Ямальской полыньи с февраля по май, а также Западной Северо-Земельской и Центральной Карской полыней с декабря по март. Также стоит отметить, что в июне повторяемость резко падает практически для всех полыней. Это позволяет нам судить о климатических изменениях, происходящих в исследуемом районе, таких как сокращение холодного периода и увеличение динамических процессов, происходящих в ледяном покрове в зимний период на акватории Карского моря.

Литература

1. Морской энциклопедический справочник/ Том 1/ Исанин Н.Н., 1987
2. БогородскийП.В., Макштас А.П., Пнюшков А.В. /Моделирование нарастания льда в заприпайной полынье // Проблемы Арктики и Антарктики №2(92) – 2012, с. 85–94
3. Тепловой баланс арктических льдов в зимний период /Макштас А.П. //Л.–Гидрометеоиздат. – 1984, 66 с.
4. Barber D.G., Massom R.A. /The role of sea ice in Arctic and Antarctic Polynyas //Polynyas: Windows To the World / Eds. W.O. Smith, Jr. Barber D.G. New York: Elsiver, 2007. Ser.47. p. 1–43.
5. Припай и Заприпайные полыньи...Карклина-Карелина
6. Е.В. Афанасьева, Т.А. Алексеева, Ю.В. Соколова, Д.М. Демчев, М.С. Чуфарова, Ю.Д.Быченков, О.С.Девятаев / Методика составления ледовых карт ААНИИ // Российская Арктика №7-2019 — 2019, с. 5 –20

БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД – ПОДСИСТЕМА ГИС МЕТЕО

Юсупов Ю.И., Тихоненко Н.Д.
НПЦ «Мэп Мейкер», Москва, Россия

SAFE CITY – GIS METEO SUBSYSTEM

Yusupov Y.I., Tikhonenko N.D.
MapMakers, Moscow, Russia

Представлен наукастинг - блендинг данных наблюдений и мезомасштабной модели, позволяющий получать точные прогнозы начала, продолжительности и интенсивности опасных и неблагоприятных погодных явлений.

Introduced nowcasting is a blending of observation data and mesoscale model, which allows to get more accurate forecast of beginning, duration and intensity of hazardous and unfavorable weather conditions.

По определению Всемирной метеорологической организации, наукастингом называется детальное описание текущей погоды и прогноз в пределах 6 часов от срока наблюдения. Развитие наукастинга обусловлено необходимостью получения как можно более точных прогнозов начала, продолжительности и интенсивности явлений погоды в условиях сильной изменчивости атмосферных процессов. Основными объектами наукастинга являются явления погоды, связанные с активной конвекцией (грозы, шквалы, град, ливни).

Для сверхкраткосрочного прогноза конвективных явлений в метеорологической практике обычно применяются данные метеорологических радиолокаторов, информация геостационарных спутников. Задача решается путем переноса текущего положения зон активной конвекции в направлении, определенном либо путем экстраполяции, либо по прогностическим полям ветра. Иногда применяется смешанный способ для построения траекторий: в первые полчаса больший вес имеют данные экстраполяционного метода, а далее – данные из гидродинамических моделей.

В этом докладе представлена система наукастинга «Безопасный город», позволяющая рассчитывать и выводить на экран оператора детальные прогнозы в пределах 6 часов от срока наблюдения зоны активной конвекции, а также другие параметры, прогноз которых необходим в пределах ближайших часов – температуры воздуха, видимости, высоты нижней границы облаков, осадков, порывов ветра.

В последние годы значительно возросла популярность использования результатов расчета мезомасштабных негидростатических моделей для краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза погоды. Модель WRF-ARW является свободно распространяемой моделью, созданной в Национальном центре по исследованию атмосферы (NCAR), США. В комплексной системе наукастинга в настоящее время используется модель WRF-ARW версия 4.1.3.

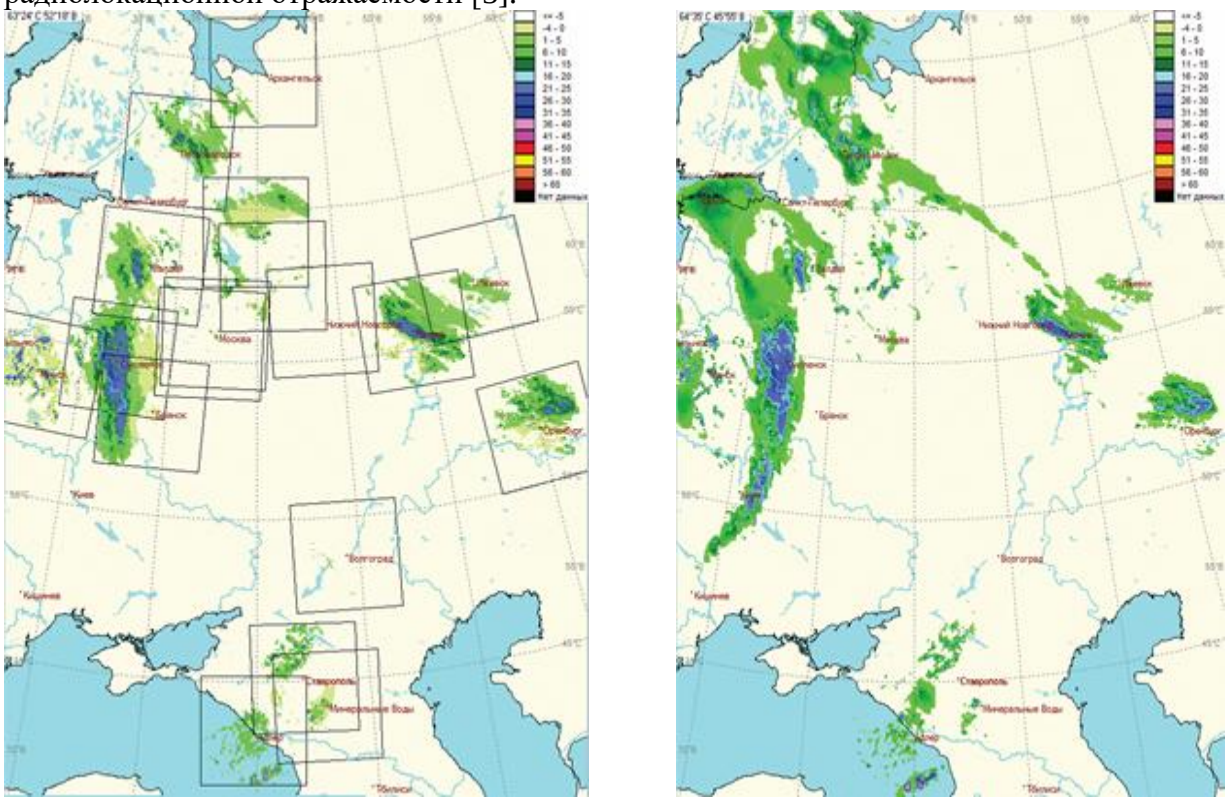
В [1, 2] описано программное средство для производства наукастинга конвективных явлений. Будущее положение зон радиолокационной отражаемости рассчитывалось с использованием полей ветра из глобальных прогностических моделей, с коррекцией скорости и направления перемещения, определенной по экстраполяционному методу. Это программное средство успешно применялось для прогноза времени подхода зон осадков к локальным объектам при метеорологическом обеспечении XXII Олимпийских игр в 2014 г.

В числе выходных параметров модели WRF-ARW есть имитация радиолокационной отражаемости. Радиолокационная отражаемость моделируется по прогностическим

значениям отношения смеси гидрометеоров на различных уровнях с учетом рассеяния Релея на сферических частицах известной плотности и размеров. С целью получения более полной картины и покрытия мест, где отсутствует информация от МРЛ предлагается совместно использовать фактическую и прогностическую (соответствующей заблаговременности) радиолокационную отражаемости. При этом, в соответствии с алгоритмом, изложенном в [1] поля фактической радиолокационной отражаемости перемещаются и смешиваются (технология блендинга) с прогностической радиолокационной отражаемостью, полученной от WRF-ARW. В России метеорологические радиолокаторы (МРЛ) имеют достаточно плотную сеть только в Европейской части, но даже здесь есть места, где информация от МРЛ не перекрывается, а учитывая, что некоторые станции временами не передают информацию - воссоздать реальное синоптическое положение бывает достаточно сложно. Ожидается, что предлагаемая система даст возможность дежурному синоптику лучше представить истинную картину процессов, происходящих в атмосфере и позволит точнее дать прогноз таких явлений как ливни, грозы, шквалы, град.

В соответствии с построенным алгоритмом, для расчетов используется полученная по модели WRF-ARW радиолокационная отражаемость как на отдельных изобарических поверхностях, так и максимальная в тропосфере. Далее, эта информация стыкуется с данными о фактической радиолокационной отражаемости. При удалении от центральной точки радиолокатора на расстояние более 100 км, вес прогностической информации увеличивается и достигает 1 в неосвещенных местах.

Для построения прогностического положения радиоэха используется траекторная модель, построенная на изобарической поверхности, соответствующей максимальной радиолокационной отражаемости [3].



а) б)

Рис.1. Фактические данные о радиолокационной отражаемости 8 ноября 2015 г. 15 ч МСВ (а) и прогноз с заблаговременностью 2 ч, выполненный по стыкованным данным МРЛ за 8 ноября 2015 г. 13 ч МСВ и информации модели WRF-ARW за 8 ноября 2015 г.6 ч, с заблаговременность 7 ч. (б).

На Рис.1 а) представлена карта радиолокационной отражаемости по данным метеорологических радиолокаторов за 8 ноября 2015 г. 15 ч МСВ. Зоны действия локаторов обведены черными прямоугольниками. На Рис. 1б) - прогноз с заблаговременностью 2 ч положения зон радиолокационной отражаемости, выполненный по стыкованным данным о фактической радиолокационной отражаемости за 8 ноября 2015 г. 13 ч МСВ и прогностической радиолокационной отражаемости по модели WRF-ARW, рассчитанной с заблаговременностью 7 ч по данным за 8 ноября 2015 г. 6 ч МСВ. Анализ этих рисунков показывает, что прогностическая карта (Рис. 1 б) выглядит полнее за счет присутствия информации модели WRF-ARW. Отчетливо видна фронтальная зона, протянувшаяся от Балтийского моря до границы Украины с Молдавией. Правильно спрогнозированы осадки в г. Смоленске, Петрозаводске, Казани, Оренбурге. Но, главное, использование дополнительных прогностических данных о радиолокационной отражаемости модели WRF-ARW позволило правильно спрогнозировать осадки в Прибалтике и ливневые осадки в окрестностях Киева, в местах, где на момент начала прогноза отсутствовали радиолокационные наблюдения.

Среди информации, передающейся от метеорологических радиолокаторов, кроме радиолокационной отражаемости на разных уровнях, есть данные о явлениях погоды (осадки, ливни, грозы, шквалы, град), рассчитанные по комплексным критериям распознавания [4]. Способ перевода значений радиолокационной отражаемости в различные явления погоды представлен в [4]. В модели WRF-ARW прогностические значения радиолокационной отражаемости Z передаются в dB. Чтобы воспользоваться таблицами [4] необходимо перевести эти значения в lgZ.

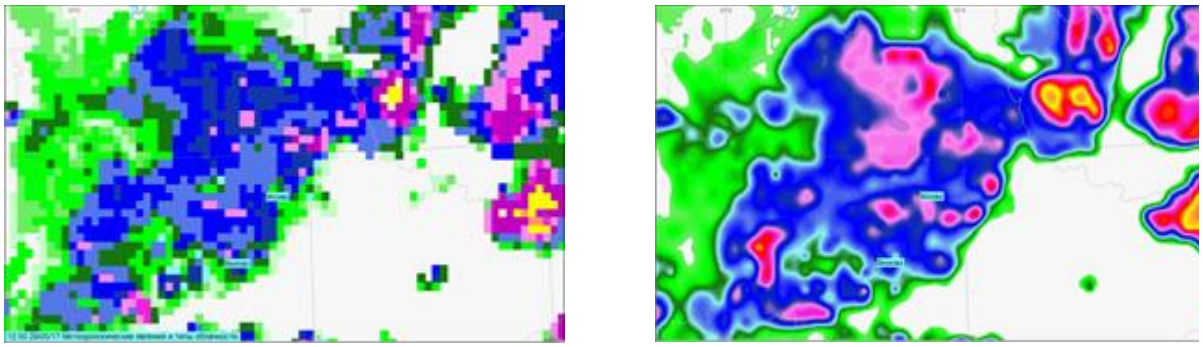
$$lgZ = (dBZ - 18) / 10 \quad (1)$$

Таким образом, появляется возможность сверхкраткосрочного (в пределах 0 - 6 ч с шагом 10 минут) прогноза по данным модельной радиолокационной отражаемости таких явлений погоды, как осадки, ливни, грозы, шквалы, град.

Метод прогноза нового положения зоны активной конвекции с помощью экстраполяции или по траекторным расчетам давно известен и применяется во многих метеослужбах разных стран. Однако он имеет один существенный недостаток: среднее время жизни конвективного процесса – 30 минут. Поэтому, прогнозы с заблаговременностью более часа содержат довольно существенные ошибки. Необходим учет эволюции конвективных процессов. Блендинг с прогнозами по WRF-ARW. Смешивание с разными весами прогнозов, полученных по перемещению данных в срок наблюдения с результатами расчета модели позволяет учесть эволюцию конвективных процессов.

$$V(x, y)_{c+p} = w\ O_{c+p}(x, y) + (1 - w)\ M_{c+p}(x, y) \quad (2)$$

где w - весовой множитель, O_{c+p} – значение в срок наблюдения, перемещенное по траекторной модели, M_{c+p} – прогноз по гидродинамической модели



а) б)

Рис. 2. а) 29 мая 2017 12:50 МСВ явления погоды по данным МРЛ и б) наукастинг, выполненный по технологии «Безопасный город» на этот срок с заблаговременностью 2 ч.

Для сравнения, на Рис. 2 представлена информация от метеорологического радиолокатора на срок прогноза и результат работы наукастинга. Сравнение показывает, хорошее совпадение полей, полученных от радиолокатора и прогностических, с заблаговременностью 2 ч.

На Рис.3 представлена структурная схема комплексной системы наукастинга в технологии «Безопасный город». Каждые 10 минут включаются в работу два блока, отвечающие соответственно за прогноз конвективных явлений и прогноз таких параметров, как метеорологическая дальность видимости, высота нижней границы облачности, приземные ветер и температура.

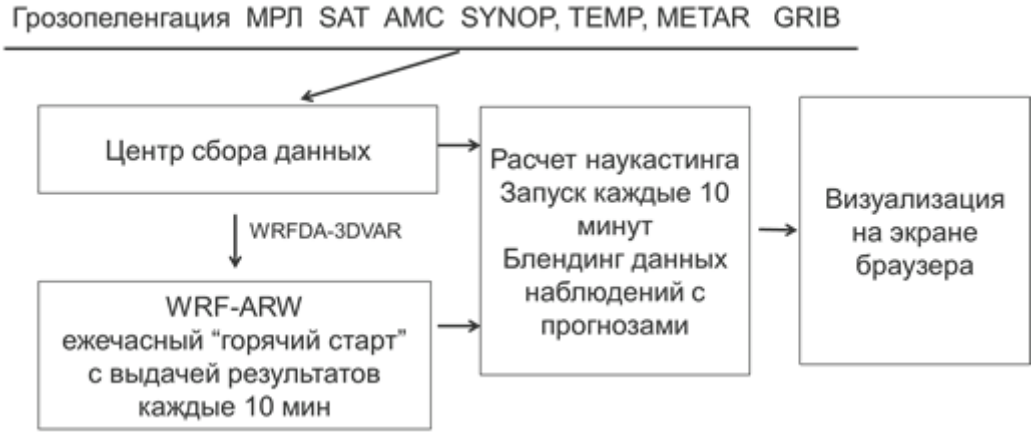


Рис.3. Структурная схема системы наукастинга

В центр сбора данных (ЦСД) регулярно поступает информация от автоматических метеорологических станций (АМС), в том числе частных, синоптических и аэрологических станций, метеорологических радиолокаторов (МРЛ), геостационарных спутников, сети грозопеленгации. Данные наблюдений усваиваются с помощью модуля WRFDA-3DVAR при расчете мезомасштабной негидростатической модели WRF-ARW, которая запускается на счет **ежечасно** и выдает прогнозы с заблаговременностью до 6 часов с шагом 10 минут. Разработанная технология «Безопасный город» предусматривает быструю настройку на проведение расчетов наукастинга в любой географической точке Земного шара.

Литература

1. Юсупов Ю. И. Наукастинг в технологии ГИС Метео. //Метеоспектр. – 2015. №1. – с.43-48.
2. Юсупов Ю. И. Комплексная система наукастинга для авиации в технологии ГИС Метео. //Метеоспектр. – 2016. №4. – 72 – 81.

3. Wilson J. Thunderstorm nowcasting: past, present and future. /Preprints, 31st Conf. on Radar Meteorology, Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc., 2003, J13–J19.
4. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. 1993, – Гидрометеоиздат, Санкт-Петербург, 358 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПРОГНОЗА НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ОБСКОЙ ГУБЕ

Яговкина Е.А. [1,2],. Хаймина О.В [1],. Кубышкин Н.В [2]
1 – Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия
2 – ООО «Артик Шельф Консалтинг», Санкт-Петербург, Россия

THE USAGE OF NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF NON-PERIODIC SEA LEVEL FLUCTUATIONS IN THE OB BAY

. Iagovkina E.A [1,2], Khaimina O.V. [1], Kubyshkin N.V. [2]
1 – Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia
2 – LLC “Arctic Shelf Consulting”, St. Petersburg, Russia

Использованы нейронные сети для краткосрочного прогноза уровня моря у м.Каменный Обской губы Карского моря. Были оценены перспективы метода и намечены пути улучшения прогноза.

Neural networks were used for short-term forecasting of sea level near Cape Kamenny, Ob Bay of the Kara Sea. The perspectives of the methods were evaluated and ways to improve the forecast were outlined.

Нейронные сети нашли применение практически везде для решения задач прогнозирования. Они также активно используются и в задачах гидрометеорологии. К плюсам нейронных сетей относят следующие черты: простота, масштабируемость, гибкость и готовность к многократному использованию. Сложные модели, такие как глубокие нейронные сети, могут обнаруживать едва различимые закономерности в данных, но если обучающий набор содержит шумы или слишком мал (что привносит шум выборки), то модель, скорее всего, станет выявлять некие закономерности в самом шуме, т.е. будет переобучаться и давать ошибочные прогнозы.

Исходные данные

В настоящей работе использовались уникальные данные уровня моря у мыса Каменный, полученные с гидрологического буя, установленного «Арктик-Шельф Консалтинг». Также в работе использовались данные в районе Салмановского нефтегазоконденсатное месторождение. В исследовании используются данные уровня моря, предвычисленных Г.Н.Войновым приливо-отливных колебаний уровня, данные атмосферного давления у мыса Каменный, а также атмосферное и гидростатическое давления у пункта Салман за 2019 год. Дискретность всех наблюденных и перечисленных характеристик – 1 час. Обобщенная информация об исходных данных представлена в таблице 1.

Таблица 1. Информация об исходных данных

Характеристики исходных рядов	Дата	с 18.02.2019 13:00 по 10.04.2019 14:00	с 11.04.2019 08:00 по 13.05.2019 15:00
	Количество значений	1226	770
Переменные, используемые в работе	Уровень м.Каменный	✓	✓
	Предвычисленные приливы	✓	✓

	Атмосферное давление м.Каменный	✓	✓
	Атмосферное давление п.Салман	✓	✓
	Гидростатическое давление п.Салман	✓	✓

В исходных данных имеется пропуск в наблюдениях с 10.04 15:00 по 13.05 14:00. Этот пропуск разделил исходные данные на тренировочную или обучающую выборку (до 10.04.19 15:00, 1226 наблюдений уровня моря) и тестовую или валидационную (с 13.05.19 15:00, 770 наблюдений за уровнем моря).

Методы и результаты.

Наиболее распространенный тип нейронной сети, называемый многослойным персептроном (MLP) – это функция, которая преобразует входные данные в выходные. MLP имеет один входной слой и один выходной слой. Между ними может быть один или несколько скрытых слоев. Входной слой имеет тот же набор нейронов, что и набор объектов. Скрытые слои также могут иметь более одного нейрона. Каждый нейрон представляет собой линейную функцию, к которой применяется функция активации для решения сложных задач.

У нейросети есть перечень параметров, которые можно изменять, чтобы получить более качественный и точный прогноз. К таким параметрам относятся: количество срытых слоев, количество итераций, количество персептронов, функция активации, метод оптимизации, параметр регуляризации α и другие.

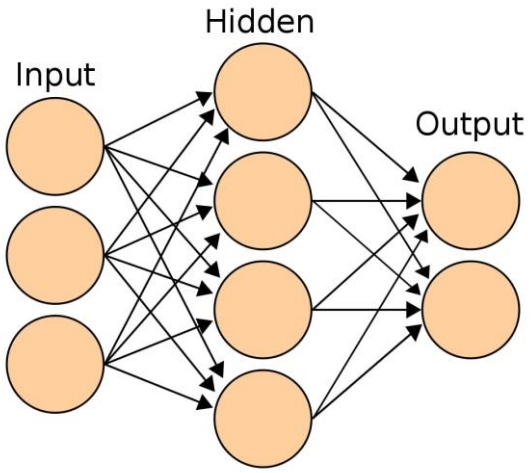


Рис.2. Пример структуры многослойного персептрона [1]

В этой работе использовалась простая трёхслойная нейронная сеть, реализованная на языке Python с помощью библиотеки scikitlearn. Перед использованием нейронной сети исходные данные стандартизировались z-методом (из каждого наблюдения вычиталось среднее ряда, а затем полученный результат делился на стандартное отклонение).

В качестве предикторов использовались разные наборы данных: только предшествующий уровень моря у м.Каменный, сочетание уровня моря у м.Каменный и атмосферного давления у м.Каменный, уровень моря в районе Салмановского нефтегазоконденсатного месторождения и др. Также были предприняты попытки прогноза с различной заблаговременностью от 2 до 12 часов (так как это оперативный прогноз).

На тренировочной выборке, что ожидаемо, высокое качество прогноза (при разном сочетании предикторов и настроек нейросети может достигать 99%), при заданной точности ± 5 сантиметров. Пример воспроизведения тренировочной выборки представлен на рисунке 2. Для прогноза, представленный на рисунке 2, в качестве предикторов использовались атмосферное давление у м.Каменный и уровень моря у п.Салман, прогноз был дан с заблаговременностью 2 часа. Максимальная абсолютная ошибка прогноза – 8 см, коэффициент детерминации – 98%, оправдываемость прогноза – 0.99 (абсолютная ошибка прогноза в 99% случаев не превышает 5 см). Обученная нейронная сеть в численных экспериментах пыталась воспроизвести не только колебания, близкие к среднему, но и экстремальные значения.

Однако, не смотря на большое количество поставленных численных экспериментов, требуемого качества (ошибка прогноза не более 5 сантиметров), на тестовой выборке добиться не удалось (см. рисунок 3), качество прогноза гораздо ниже чем на обучающей выборке. Ошибка прогноза может достигать 44 см при прогнозе на 12 часов. Ниже приведены примеры полученных прогнозов с помощью алгоритма нейронной сети (рисунки 3, 4).

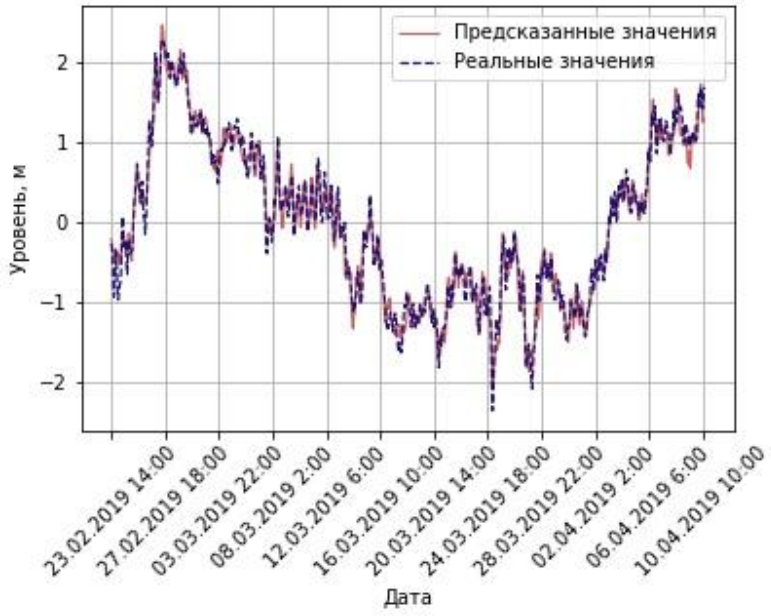


Рис. 3. Прогноз нейронной сети на 2 часа, обучающая выборка, предикторы: атмосферное давление и уровень моря у п.Салман

На рисунке 3 представлен прогноз уровня моря, полученный с помощью нейронной сети, где на вход подавались значения атмосферного давление у м.Каменный и уровня моря у п.Салман, прогноз на 2 часа, коэффициент детерминации составил 0.71, максимальная абсолютная ошибка 28 см, оправдываемость – 0.75. По рисунку 4 видно, что прогностическая модель не всегда угадывает тенденцию и часто занижает реальные значения.

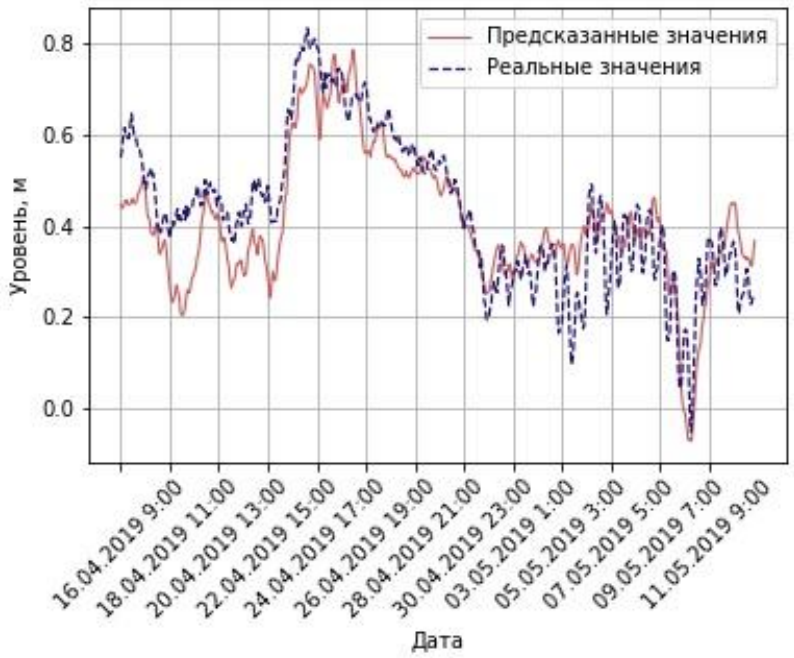


Рис. 4. Прогноз нейронной сети на 2 часа, тестовая выборка, предикторы: атмосферное давление и уровень моря у п.Салман

На рисунке 4 отражен прогноз тестовой выборки на 12 часов. В качестве предикторов выступал предшествующий уровень моря у м.Каменный за 13-120 часов (естественный синоптический период). Коэффициент детерминации 0.68, максимальная абсолютная ошибка 45см, оправдываемость прогноза – 0.73. Видно, что формы кривых похожи, но прогноз «запаздывает».

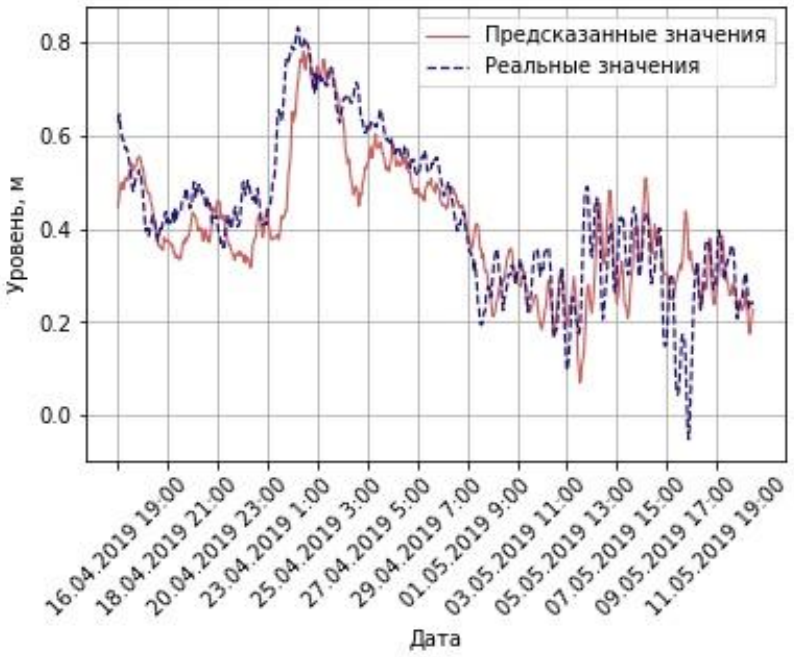


Рисунок 5. Прогноз нейронной сети на 2 часа, тестовая выборка, предикторы – предшествующие значения уровня моря у м.Каменный

Выводы

Обученная нейронная сеть в численных экспериментах пыталась воспроизвести не только колебания, близкие к среднему, но и экстремальные значения. Однако, ошибки на независимой выборке все еще далеки от 5 сантиметров.

Прогноз с помощью алгоритма нейронной сети – это один из путей получения качественного прогноза. Но для его уверенного использования необходима более тонкая настройка параметров или использование более мощной библиотеки, предназначенной для построения нейросетей (например, TensorFlow, Keras), что будет опробовано в дальнейших исследованиях.

Приведенные результаты исследования показали, что при продолжении настройки нейросети, а также при увеличении ряда натурных наблюдений, включающем большее число сгонно-нагонных колебаний и экстремальных значений уровня моря, можно ожидать улучшение качества прогнозов.

Литература

1. Статья про MLP в Scikit-Learn [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://coderzcolumn.com/tutorials/machine-learning/scikit-learn-sklearn-neural-network
2. Войнов Г.Н., Пискун А.А. Приливные и сгонно-нагонные колебания уровня у мыса Ям-Сале (Обская губа) // Проблемы Арктики и Антарктики – 2016. - № 4 (110)
3. Документация языка программирования Python. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.python.org/doc/
4. Шолле Франсуа Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2019. – 400 с.

РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА GISMETEO.HYDRO, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ СИСТЕМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА

Ясинский Н.С.[1], Полунин А.Я.[2]
[1]НПЦ «Мэп Мейкер», Москва, РФ; [2]ФГБУ «УГМС Центральный», Москва, РФ

DEVELOPMENT OF AUTOMATED FLOOD DISCHARGE FORECASTING SYSTEM AS A COMPONENT OF GISMETEO.HYDRO PACKAGE BASED ON COUPLING OF METEOROLOGICAL MODELS DATA AND FLOW GENERATION MODEL

N. Yasinskiy, A. Polunin
Mapmakers Group LLC; FSBI «Central Department of the State Meteorological Service»

В условиях изменения климата необходимо внедрение краткосрочного прогноза расходов воды в системы оперативного учета стока, применяемые в подразделениях Росгидромета и других заинтересованных ведомств. В докладе приведен обзор системы, разрабатываемой с целью получения и использования прогнозных метеорологических моделей для расчета формирования стока и краткосрочного прогноза расхода воды в замыкающем створе.

In the face of climate change short term water discharge forecasting needs to be implemented in real-time flow management systems used in Roshydromet departments and other stakeholder organisations. This report provides an overview of a system, developed to get and use forecast meteorological models data for calculation of flow concentration and short term forecast of water discharge at the river outlet.

Введение

Несмотря на отмечающееся уменьшение весенних максимальных расходов на 75% рек бассейна Волги в период с 1970-х, на левобережных её притоках половодье остается неизменным при повсеместном увеличении количества паводков, как осенних, так и зимних в пределах всего бассейна [1,2]. На крупных реках, таких как Иртыш, Лена, катастрофические наводнения, в том числе вызванные заторами, происходят в силу наложения ряда факторов, таких как дружность весны, поступление осадков на водосбор в период половодья, степень увлажненности и промерзания почвы [3,4]. Все это свидетельствует о важности прогнозов ежедневного расхода воды рек в период весеннего половодья, особенно при разнообразии условий формирования стока половодья для разных рек нашей страны. Для крупных речных бассейнов делаются попытки создания моделирующих систем на основе комплексных физико-математических моделей [5,6], но применительно к малым рекам этот вопрос освещен менее подробно. Необходимость разработки доступного специалистам различной квалификации инструментария в этой области назрела давно и подтверждается работами сотрудников Росгидромета [7]. Зарубежный опыт развития методов гидрологического моделирования, который значительно обогатился в связи с изменением климата, прежде всего сосредоточен на дождевом стоке, и только в странах с холодным климатом, к примеру в Канаде, исследователи разрабатывают методы прогнозов весеннего стока и расчета процессов снегонакопления [8].

Современное развитие метеорологических моделей, выраженное в увеличении разрешения сеток, масштаба по времени, повышения точности прогнозов, набора прогнозируемых параметров и расширении сферы расчетов моделей на земную поверхность, дает возможность в большей мере использовать прогностические поля гидрометеорологических элементов в качестве полей характеристик для гидрологических моделей.

Материалы и методы исследования

Компонента прогнозирования расходов половодья включает блок предмодельной обработки данных метеорологических моделей, модель формирования стока и модель концентрации стока. Программные элементы выполнены с использованием языков Python и Fortran, а также с применением среды разработки моделей окружающей среды PCRaster [9].

В качестве исходных данных могут использоваться прогнозные файлы различных метеорологических моделей, в данной работе мы использовали модель Европейского центра прогнозов ECMWF. Для прогноза система усвоения данных использует файлы в сетке Гаусса с разрешением 0.25 градуса, для калибовки и предварительной проверки модели был использован реанализ ERA-5 на регулярной сетке с разрешением 0.25 градуса. В число параметров, используемых при расчете входят температура на высоте 2 м, жидкие и твердые атмосферные осадки, испарение с земной поверхности, влажность почвы в слое 0 – 7 см и 7 – 28 см, снеготаяние. Кроме входных данных моделей подготавливается слой субводосборов и маска леса-поля для детальной параметризации территории. Субводосборы выделяются для водотоков последних двух порядков по системе Хортона и порогового значения их площади. В модели формирования стока формализованы процессы поступления осадков на земную поверхность, снегонакопление и инфильтрация. Процесс снегонакопления задан в балансовом виде, при этом учитывается водоудерживающая способность снега, а насыщенность снега водой рассчитывается как $S_{\text{нас}} = S_{\text{тв}} \frac{\varepsilon_n}{1-\varepsilon_n}$ где $S_{\text{тв}}$ – твердая фаза снежного покрова, ε_n - . Инфильтрация в мерзлую и оттаявшую почву рассчитывается на основе формулы использованной в модели В.И. Корня [10]:

$$I = K_1 \frac{\theta_{\text{макс}} - \bar{\theta}}{z} + i\left(\frac{\bar{\theta}_{\text{т}}}{\theta_{\text{макс}}}\right)^{3.5} (1 + 8\bar{\theta}_{\text{м}})^{-2}$$

где безразмерные $\theta_{\text{макс}}$ – предельная продуктивная влагоемкость, $\bar{\theta} - \text{влажность},$ $\bar{\theta}_{\text{м}} - \text{льдистость двух верхних горизонтов почвы}$ в модели ECMWF. i и K_1 – коэффициенты по смыслу близкие коэффициентам диффузии и фильтрации. Льдистость рассчитывалась с помощью линейной интерполяции на основе температуры двух верхних горизонтов почвы модели ECMWF, влажность почвы также считывалась по данным модели. Сток рассчитывался как баланс приходных и расходных элементов для каждого субводосбора осредненный по ячейкам расчета.

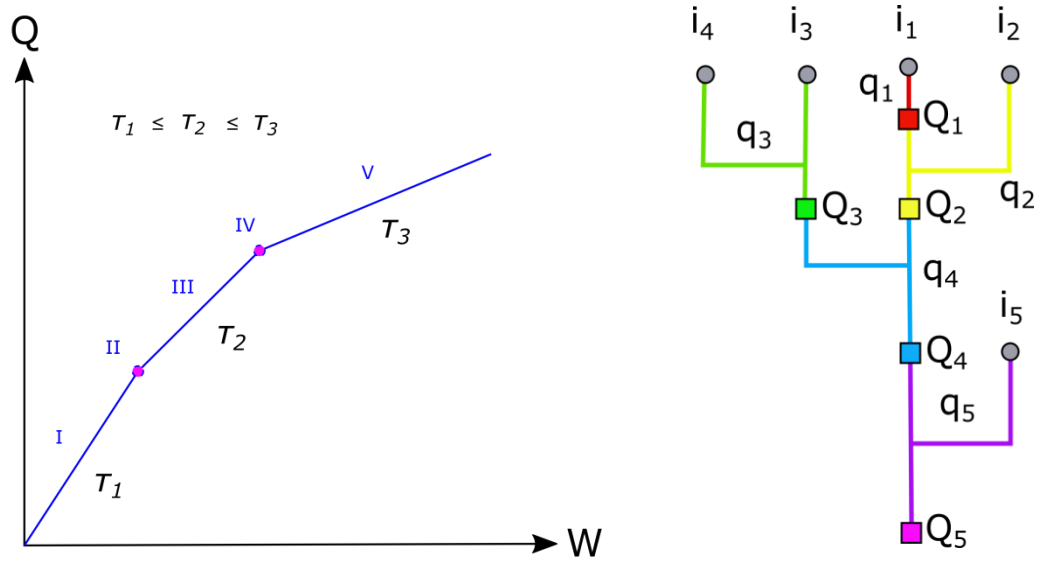


Рис. 2. Схема трехзвенной зависимости расходов от объемов воды в русле, используемой в модели трансформации.

Исходные GRIB файлы модели перед началом расчета обрабатывались созданными для этой цели скриптами, которые включали вычленение параметров по пространству и времени из сообщений GRIB, повышение разрешения полей путем интерполяции кубическими сплайнами, консолидации и трансформации полей в формат map.

Полученный для субводосборов сток использовался как вход для модели трансформации. Для каждого субводосбора задана трехзвенная зависимость расхода воды от её объема в русле. На основании уравнения $\frac{dW(t)}{dt} = q - Q(t)$, где q – приток воды, включая боковой, Q – расход на выходе из субводосбора, можно составить систему:

$$\begin{cases} \hat{Q}_{i+1} = (Q_i - q) \cdot \exp\left(-\frac{t_{i+1} - t_i}{\tau}\right) + q \\ \hat{W}_{i+1} = \tau \hat{Q}_{i+1} + W_z \end{cases}$$

где τ – угол наклона звена ломаной связи расхода от объема, W_Z – свободный член уравнения для соответствующего звена.

Результаты и обсуждение

Для апробации модели мы выбрали водосбор р. Мокша (Темников) в силу хорошей изученности, достаточной расчлененности рельефа и значительной доли снегового питания в годовом стоке. Площадь водосбора составляет 15700 км^2, залесенность 18%, средняя высота 190 м абс., средневзвешенный уклон реки 0.18 ‰, среднемноголетний расход воды составляет 108 м^3/с [11,12].

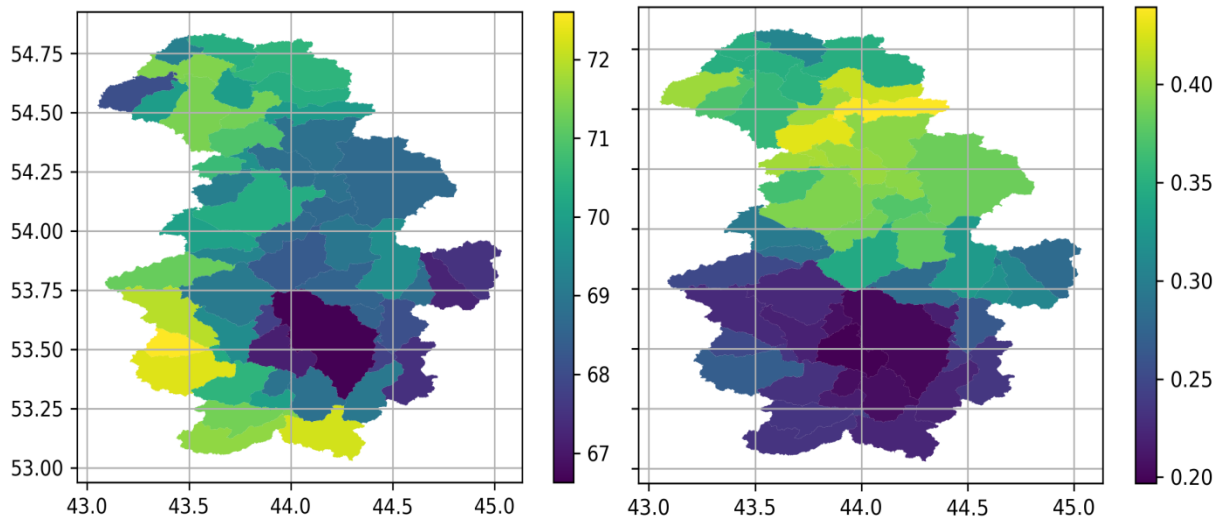


Рис. 2. Распределение по территории водосбора р. Мокши максимального запаса воды в снеге в 2011 – 2012 гг. (слева) и средний суточный слой инфильтрации за апрель 2012 г. (справа) по результатам моделирования в мм.

Водосбор был разделен на субводосборы с помощью PCRaster и пакета QGIS, границы водосборов и их нумерация были откорректированы таким образом, чтобы обеспечить условия для решения матрицы уравнений. По данным дистанционного зондирования была создана карта залесенных участков.

В соответствии с рекомендациями В.И. Корня для рек европейской территории России параметр диффузии в формуле инфильтрации была задан 7 для лесных и 1.5 для полевых участков, коэффициент фильтрации – 1 для лесных и 0.6 для полевых. Водоудерживающая способность снега, которая должна меняться в зависимости от возраста снежного покрова и связана с его плотностью, на данном этапе разработки модели задана постоянной величиной 0.1, на основании рекомендаций В.Д. Комарова [13].

Расчет проводился для весны многоводного 2012 года, наибольший расход воды за половодье определенный по кривой связи расходов и уровней составил 1138 м^3/с при среднемноголетнем значении 955 м^3/с и максимальном 3210 м^3/с (зафиксирован в 1963 году). Дискретность расчета составила 3 часа, от 01 июня 2011 до 31 мая 2012 г. В качестве входных данных модели были использованы данные реанализа ERA-5 с дискретностью 3 часа и обновлением два раза в сутки. Использованные параметры включают: общие и твердые осадки, испарение, снеготаяние, температуру и влажность почвы для слоев 0 – 7 и 7 – 28 см.

На рис. 2 приведено распределение средней инфильтрации за апрель 2012 г. и максимального запаса воды в снеге в мм по результатам моделирования. Полученные запасы воды в снеге в целом соответствуют значениям, полученным для водосбора в ходе снегомерных съемок в 2011 – 2012 гг.

На рис. 3 показан график смоделированных и измеренных расходов воды в замыкающем створе Темников, р. Мокша. Видно хорошее соответствие модельных расходов измеренным с легким сдвигом по времени назад. Также отмечается повышение расходов в середине декабря, что соответствует повышению уровней воды в связи с оттепелью.

В докладе не приводится оценок качества моделирования, поскольку количество смоделированных лет недостаточно и подобная оценка была бы нерепрезентативной.

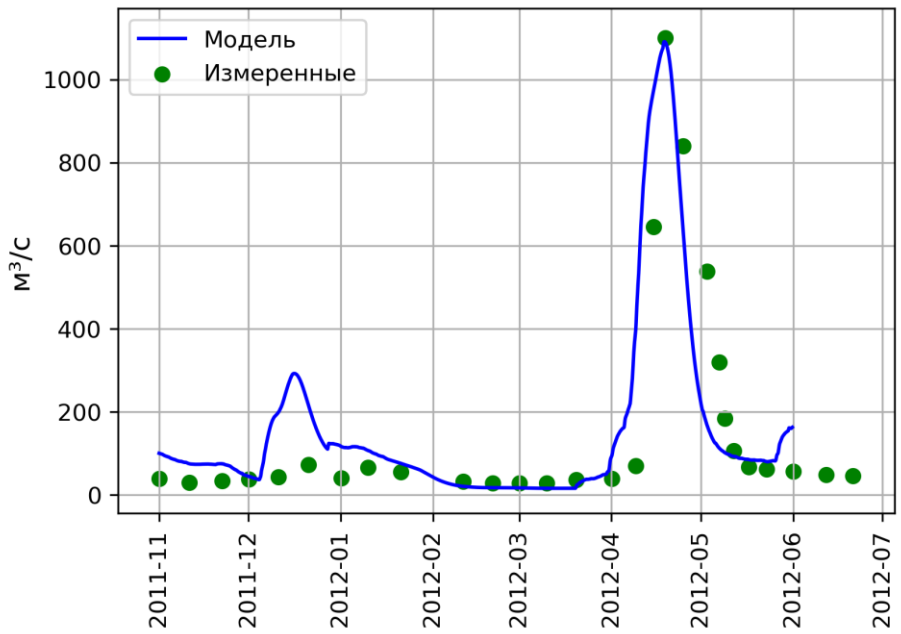


Рис. 3. График смоделированных и измеренных расходов воды в створе р. Мокша, Темников в 2011 – 2012 г.

Заключение

Создание системы прогноза ежедневных расходов воды в весенний период, использующей в качестве входных данных расширенный набор параметров атмосферных моделей и минимально требовательной к информации о водосборе, сводимой к простым геоинформационным расчетам, представляется перспективным направлением. Вместе с тем, в настоящий момент имеется необходимость доработки как модели формирования стока, так и трансформационной модели, в частности создание алгоритма автоматизированной подготовки матриц уравнений для субводосборов на основе геоинформационных данных. Также модель необходимо апробировать для протяженного временного периода и для нескольких водосборов.

Литература

1. Горбаренко А.В., Киреева М.Б. Изменения генетических компонентов сезонного стока рек бассейна Верхней Волги в условиях нестационарности климата // ЧЕТВЕРТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ГИДРОЛОГИЯ ОТ ПОЗНАНИЯ К МИРОВОЗЗРЕНИЮ. Санкт-Петербург, 2020. С. 589–594.
2. Kireeva M.B. и др. Occasional floods on the rivers of russian plain in the 20th –21st centuries // Geogr. Environ. Sustain. 2020. Т. 13, № 2. С. 84–95.
3. Волковская Н.П. Наводнения на реках Омской области // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. Т. 1, № 8. С. 1–7.
4. Стручкова Г.П., Тимофеева В.В., Капитонова Т.А. Статистическая модель наводнения в период весеннего половодья и ледохода на р. Лена у г. Якутск // Метеорология и гидрология. 2015. № 5. С. 84–88.
5. Бугаец А.Н. и др. Гидрологическая модель как Web- сервисное приложение : опыт реализации на примере модели ECOMAG // ЧЕТВЕРТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ГИДРОЛОГИЯ ОТ

ПОЗНАНИЯ К МИРОВОЗЗРЕНИЮ. Санкт-Петербург, 2020. С. 48–53.
6. Мотовилов Ю.Г. и др. Краткосрочный прогноз притока воды в Бурейское водохранилище на основе модели ECOMAG с использованием метеорологических прогнозов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2017. № 1. С. 78–102.
7. Романов А.В. Развитие системы прогнозирования наводнений в Российской Федераиции. Часть 1. Фон и катализаторы изменений. // Труды Гидрометцентра России. 2017. № 365. С. 182–195.
8. Marsh C.B., Pomeroy J.W., Wheater H.S. The Canadian Hydrological Model (CHM) v1.0: a multi-scale, multi-extent, variable-complexity hydrological model - design and overview // Geosci. Model Dev. 2020. Т. 13, № 1. С. 225–247.
9. Karssenberg D., Verstegen J., Schmitz O. Land surface process modelling with Python. 2018.
10. Корень В.И. Математические модели в прогнозах речного стока. 1991. 200 с.
11. Основные гидрологические характеристики. Т. 10. Верхне-волжский район / под ред. Сурина З.С. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1979. 225 с.
12. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Верхней Волги / под ред. Георгиевский В.Ю. Ливны, 2015.
13. Комаров В.Д. Гидрологический анализ и прогноз весеннего половодья равнинных рек. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1955. 304 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Аверкиев А.С. КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ И ТИПЫ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ…….. 5

Averkiev A.S. LEVEL FLUCTUATIONS IN THE GULF OF FINLAND AND ATMOSPHER CIRCULATION TYPES……. 5

Алексеева Е.А., Федорова И.В. АНАЛИЗ РИСКОВ ОТ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ И ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ……...10

Alexeeva E.A., Fedorova I.V. ANALYSIS OF RISKS AND DAMAGES FROM DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS FOR THE REPUBLIC OF BURYATIA AND THE IRKUTSK REGION…….10

Анохин В.М., Дудакова Д.С., Дудаков М.О. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОЙ ФОТОВИДЕОСЪЕМКИ В 2018-20 ГОДАХ……. 15

Anokhin V.M., Dudakova D.S., Dudakov M.O. RESULTS OF STUDY OF THE LADOGA LAKE BOTTOM LANDSCAPES WITH THE USE OF UNDERWATER PHOTOVIDEOGRAPHY IN 2018-20……15

Бабкин А.В., Бабкин В.И., Мадибеков А.С., Мусакулкызы А.,. Чередниченко А.В. СКРЫТАЯ ГАРМОНИКА С ПЕРИОДОМ 11 ЛЕТ В КОЛЕБАНИЯХ МЕСТНОГО СТОКА ОБЛАСТЕЙ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН……20

Babkin A.V., Babkin V.I., Madibekov A.S., Mussakulkyzy A.,. Cherednichenko A.V HIDDEN HARMONICS WITH THE PERIOD OF 11 YEARS IN THE VARIATIONS OF LOCAL RUNOFF OF KAZAKHSTAN REPUBLIC……20

Бойцов В.Д. СТРУКТУРА МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЯ ОЗЕРА ИЛЬМЕНЬ И ФАКТОРЫ ЕЕ ФОРМИРУЮЩИЕ……24

Boitsov V.D.THE STRUCTURE OF THE INTER-ANNUAL VARIABILITY OF LAKE ILMEN LEVEL AND ITS FACTORS SHAPING……24

Бубенчиков С.В., Маруних А.С., Лобанов Ф.И. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С ВЫСОКИМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ НА ПРИМЕРЕ ЭКСТРИМАЛЬНЫХ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ ПОЛОМЕТЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ НА РЕКЕ ВОЛХОВ……..29

Bubenchikov S.V., Marunich A.S., Lobanov F.I. FEATURES OF MODERN HYDROLOGICAL INFORMATION SYSTEMS WITH HIGH TIME RESOLUTION ON THE EXAMPLE OF EXTREME RAIN FLOWS IN THE EXPERIMENTAL BASIN OF THE RIVER POLOMYAT AND EXPERIMENTAL WORKS ON RIVER VOLKHOV…29

Бубнова Я.В., Багдасарян А.А., Гнатенко К.В. ПРОБЛЕМЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ……33

Bubnova Ya. V., Bagdasaryan A. A., Gnatenko K. V. PROBLEMS OF CONSUMPTION IN THE MODERN WORLD…… 33

Булгаков К.Ю., Фокина К.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИВОДНОГО СЛОЯ С ПАРАМЕТРИЗАЦИЕЙ СТРАТИФИКАЦИИ И ЭЛЕМЕНТОВ ВЛИЯНИЯ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ…… 39

Bulgakov K.Yu., Fokina K.V. MODELING THE SURFACE LAYER ABOVE SEA WITH PARAMETERIZATION OF STRATIFICATION AND THE ELEMENTS OF THE WIND WAVES INFLUENCE……39

Виноградова В.В. РАЙОНИРОВАНИЕ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ ПО ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ЖИЗНИ НАСЕЛЕНИЯ…….43

Vinogradova V.V.Regionalization OF THE NORTHERN AND ARCTIC TERRITORIES OF RUSSIA BY NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF HUMMAN LIFE…….43

Войнов Г.Н., Пискун А.А.ПРИЛИВЫ В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА УРОВНЕМ ВДОЛЛЬ ПОБЕРЕЖЬЯ АНТАРКТИДЫ……48

Voinov G.N., Piskun A.A.TIDES IN THE SOUTHERN OCEAN ACCORDING TO LEVEL OBSERVATIONS ALONG THE COAST OF ANTARCTIDA……48

Второва А.И., Мякишева Н.В. АНТРОПОГЕННЫЕ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ МИАСС……53

Vtorova A.I., Myakisheva N.V. ANTHROPOGENIC AND CLIMATE CHANGES OF WATER RESOURCES IN THE MIASS RIVER BASIN……..53

Гавриков С. А. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕК В ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ПРАКТИКЕ РАСЧЕТОВ РЕЧНОГО СТОКА…….60

Gavrikov S. A. CLASSIFICATION OF THE RIVERS IN HYDROLOGICAL RESEARCHES AND PRACTICE OF CALCULATIONS OF THE RIVER FLOW……60

Гагулина Н.Л., Гагулина А.С. ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И КАЧЕСТВО ЖИЗНИ….. 66

Gagulina Natalya L., Gagulina Alina S. CLIMATE CHANGES AND QUALITY OF LIFE…….66

Гайдукова Е. В., Викторова Н. В., Шаночкин С. В. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ……71

Gaidukova E.V., Victorova N.V., Shanochkin S. V. FUNCTIONAL METHOD FOR MODELING HYDROLOGICAL PROCESSES……71

Головина Е.Г., Подгайский Э.В., Черемных А.В., Скорик Я.В., Тенилова О.В. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КУРСА ПО БИОМЕТЕОРОЛОГИИ В РАМКАХ РЕАЛИЗУЕМЫХ В РГГМУ ПРОЕКТОВ……..74

Golovina E.G., Podgaiskii E.V., Cheremnykh AV, Skorik Ya.V., Tenilova O.V. EXAMPLES OF APPLICATION OF THE INTERNET OF THINGS IN HEALTHCARE: EXPERIENCE IN DEVELOPING A COURSE ON BIOMETEOROLOGY WITHIN THE FRAMEWORK OF PROJECTS IMPLEMENTED IN RSHU……74

Горбаренко А.В., Киреева М.Б. ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК БАССЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА……78

Gorbarenko A.V., Kireeva M.B.TRANSFORMATION OF THE WATER REGIME OF RIVERS IN THE UPPER VOLGA BASIN UNDER CLIMATE CHANGE……78

Горошкова Н.И., Стриженок А.В. ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА РЕКАХ БАССЕЙНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ……83

Goroshkova N.I., Strizhenok A.V. DANGEROUS HYDROLOGICAL FACTS IN THE RIVERS OF THE BALTIC SEA BASIN…….83

Греков А.Н., Греков Н.А., Рязанов В.А., Кузьмин К.А.МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЕКТОРА СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ, ТЕМПЕРАТУРЫ И ГЛУБИНЫ КАК КОМПОНЕНТ ГОМС……...87

Grekov A.N., Grekov N.A., Rjazanov V.A., Kuzmin K.A. MULTIFUNCTIONAL FLOW VELOCITY, TEMPERATURE AND DEPTH VECTOR METER AS A COMPONENT OF THE GMS……87

Гречушникова М.Г., Чалов С.Р., Улатов А.В., Школьный Д.И., Цыпленков А.С., Морейдо В.М. ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА КУЛТУЧНОГО (Г.ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ): ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ……..92

Grechushnikova M.G., Chalov S.R., Ulatov A.V., Shkolniy D.I., Tsyplenkov A.S., Moreido V.M. HYDROECOLOGICAL CONDIDION OF KULTUCHNOE LAKE (PETROPAVLOVSK-RAMCHATSKIY): HYSTORY, MODERNITY AND PROSPECTS ……92

Григоров Н.О., Никитина В. С. ИНЕРЦИОННЫЕ ПОГРЕШНОСТИ БАЛАНСОМЕРА (НЕСТАЦИОНАРНАЯ МОДЕЛЬ)……97

Grigorov N., Nikitina V. INERTIA ERROS OF BALANSOMETER (UNSTABLE MODEL) ……97

Григорьева Е.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СТРАТЕГИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЭФФЕКТА ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К НЕБЛАГОПРИЯТНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ……101

Grigorieva E.A.VARIOUS STRATEGIES FOR URBAN OPTIMIZATION TO REDUCE THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURES AND HUMAN ADAPTATION……101

Гузиватый В.В., Науменко М.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАКСИМАЛЬНОЙ КРОСС-КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕЧЕНИЙ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ……107

Guzivaty V.V., Naumenko M.A . USE OF THE MAXIMUM CROSS-CORRELATION METHOD FOR ESTIMATION OF CURRENTS ON LAKE LADOGA SURFACE ……107

Даньшина А.В. ИЗМЕНЕНИЯ В ТЕПЛОЗАПАСЕ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ВОД АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА ПРИ СОКРАЩЕНИИ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ……111

Danshina A.V.CHANGES IN THE UPPER LAYER HEAT CONTENT OF THE ARCTIC BASIN WATERS DURING ICE COVER REDUCTION BASED ON MODELING CALCULATIONS……..111

Двоеглазова К.С., Шелутко В.А., Горошкова Н.И. ДИНАМИКА ТЕПЛОВОГО СТОКА РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА…….115

Dvoeglazova K.S., Shelutko V.A, Goroshkova N.I. HEAT RUNOFF DYNAMICS OF THE NORTHERN DVINA RIVER…….. ……115

Денисов В.В., Светлова М.В. ГЕОИНФОРМАЦИОНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕКОГО КАРКАСА СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ АКВАТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЙ)……120

Denisov V.V., Svetlova M.V. GEONFORMATION MODELING ECOLOGICAL FRAMEWORK OF SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEMS AKVATERRARIUMA (ON THE EXAMPLE OF THE MURMANSK REGION AND ADJACENT WATER AREAS)……120

Довгалюк Ю. А., Веремей Н. Е., Синькевич А. А. , Михайловский Ю. П. , Торопова М. Л. , Янг Дж., Сун М. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИЛЬНОГО АЭРОЗОЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ НА ЭВОЛЮЦИЮ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ И ОСАДКОВ В КИТАЕ…….124

Dovgaluk Yu. A. , Veremei N. E. , Sinkevich A. A. , Mikhailovsky Yu. P. , Toropova M. L. , Yang J. , Sun M. NUMERICAL SIMULATION OF HIGH AEROSOL AIR POLLUTION ON CONVECTIVE CLOUDS AND PRECIPITATION DEVELOPMENT IN CHINA……124

Дубровская К.А. МНОГОЛЕТНЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИТОКА ВОДЫ К ВОЛХОВСКОМУ ВОДОХРАНИЛИЩУ……...128

Dubrovskaya K.A.LONG-TERM CHANGE IN WATER INFLOW TO THE VOLKHOV RESERVOIR……..128

Дун Сянли, Шилин М. Б. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ АКВАКУЛЬТУРЫ И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ АКВАКУЛЬТУРЫ В КИТАЕ……..131

Dong Xiangli, Shilin M. B.CHINESE AQUACULTURE……131

Дунаева Ю.Г.АРКТИКА ОНЛАЙН: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИМЕДИА В ОСМЫСЛЕНИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АРКТИКИ в XXI ВЕКЕ……..135

Dunaeva Yu.G.ARCTIC ONLINE: THE USE OF MULTIMEDIA IN THINKING THE ARCTIC OPPORTUNITIES IN THE XXI CENTURY……135

Егоров А.Н. СОЛЕНЫЕ ОЗЕРА……139

Egorov A.N. SALT LAKES…….139

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г. ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОАВТОСТИ И РЕЛЬЕФА ДНЯ НА ВДОЛЬБЕРЕГОВОЕ ДАУНВЕЛЛИНГОВОЕ ТЕЧЕНИЕ И СВЯЗАННЫЙ С НИМ ПРИДОННЫЙ ЭКМАНОВСКИЙ СЛОЙ…….144

Elkin D.N., Zatsein A.G. LABORATORY STUDY OF THE INFLUENCE OF ROUGHNESS AND RELIEF ON THE COASTAL DOWNWELLING CURRENT AND THE BOTTOM EKMAN LAYER TO IT……144

Ефименко Н.В., Поволоцкая Н.П., Трубина М.А., Кортунова З.В., Кириленко А.А., Слепых В.В., Сеник И.А. БИОКЛИМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОЙ ТРУДНОДОСТУПНОЙ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ «ЛАШТРАКСКИЕ ИСТОЧНИКИ» КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССКОЙ РЕСПУБЛИКИ ……148

Efimenko N.V., Povolotskaya N.P., Trubina M.A., Kortunova Z.V., Kirilenko A.A., Slepykh V.V., Senik I.A. BIOCLIMATIC ASSESSMENT OF WELLNESS HARD MOUNTAINS LOCATIONS «LASHTRAKSKIE SOURCES» KARACHAEVO-CHERKESS REPUBLIC……148

Журавлева А.Д.ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ СТОКА С ВЕРХОВЫХ БОЛОТ……...154

Zhuravleva A.D. PARAMETERIZATION OF HYDROLOGICAL MODELS FOR CALCULATING RUNOFF FROM UPPER PEATLANDS……154

Замолодчиков Д.Г., Маслаков А.В., Иващенко А.И., Каганов В.В. МОНИТОРИНГ АКТИВНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ В АРКТИКЕ И АНТАРКЕТИКЕ……158

Zamolodchikov D.G., Maslakov A.A., Ivaschenko A.I., Kaganov V.V.MONITORING OF ACTIVE SOIL LAYER IN ARCTIC AND ANTARCTIC……...158

Захарова Е.А., Агафонова С.А., Duguay C., Кураев А.В., Фролова Н.Л. ЛЕДОВЫЕ УСЛОВИЯ НА НИЖНЕЙ ОБИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ ……162
Zakharova E.A., Agafonova S.A., Duguay C., Kouraev A.V., Frolova N.L. RIVER ICE PHENOLOGY OF LOWER OB FROM SATELLITE ALTIMETRY…….162

Зацепин А.Г., Островский А.Г., Кочетов О.Ю., Швоев Д.А. ПРОЕКТ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА……167

Zatsein A.G., Ostrovskii A.G., Kochetov O.Yu., Shvoev D.A. PROJECT OF AUTOMATIC MONITORING SYSTEM OF THE ARCTIC BASIN……..167

Зеленева Т.П., Чанцев В.Ю. БИОПРОДУКТИВНОСТЬ КАРСКОГО МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ……..170

Zeleneva T.P., Chantsev V.U. BIO-PRODUCTIVITY OF THE KARA SEA OVER THE PAST DECADE…….170

Иванов В.В., Кузнецова Т.Г. О ПОДОБИИ ПРОЦЕССОВ АДАПТАЦИИ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ И СМЕНЕ КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНА……174

Ivanov V.V., Kuznetsova T.G.
SIMILARITY OF THE PROCESSES OF ADAPTATION OF THE HUMAN ORGANISM AFTER DISEASES AND CHANGING CLIMATIC AREA……174

Иванов К.Д., Травкин В.С. ГРИБОВИДНЫЕ ТЕЧЕНИЯ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА GLORYS12V1……..179

Ivanov K.D., Travkin V.S. MUSHROOM FLOW OF THE LOFOTEN BASIN ACCORDING TO GLORYS12V1 REANALIS DATA……179

Измайлова А.В. ОЗЕРНЫЙ ФОНД АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ……181

Izmailova A.V.LAKE FUND OF THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION …….181

Исаев Д.И. ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ……185

Isaev D.I. HYDROLOGICAL SUPPORT OF DREDGING WORKS…….185

Казаков Э.Э., Журавлёв С.А., Шеманаев К.В. КОМПАКТНАЯ МАСШТАБИРУЕМАЯ 5АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КРАТКОСРОЧНОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ЕЁ РАБОТА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ТИХВИНКИ (ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)……188

Kazakov E.E., Zhuravlev S.A., Shemanaev K.V.COMPACT SCALABLE AUTOMATED SYSTEM FOR SHORT-TERM HYDROLOGICAL FORECASTING AND ITS

OPERATION ON THE EXAMPLE OF THE TIKHVINKA RIVER (LENINGRAD REGION)……188

Калугин А.С. СТОК СЕЛЕНГИ В XXI ВЕКЕ……192

Kalugin A.S. THE SELENGA RIVER RUNOFF IN THE XXI CENTURY……192

Калугин А.С. МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОКА ВОЛГИ……196

Kalugin A.S. MODELLING OF THE VOLGA RIVER RUNOFF……...196

Костылева А.В., Мошаров С.А. ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРАТИФИКАЦИИ ВОД НА ВРЕМЕННУЮ ДИНАМИКУ КИСЛОРОДА, ХЛОРОФИЛЛА-А И КАЖУЩЕГОСЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ЭВФОТИЧЕСКОМ СЛОЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ ……200

Kostyleva A.V., Mosharov S.A. EFFECT OF THE THERMOHALINE STRATIFICATION SEASONAL CHANGE ON THE DYNAMICS OF OXYGEN, CHLOROPHYLL-A, AND APPARENT OXYGEN UTILISATION IN THE EUPHOTIC LAYER OF THE NORTH-EASTERN BLACK SEA……200

Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е., Ряслов Р.П. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ДРЕЙФУЮЩИХ АРКТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ РАЗНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ДРЕЙФА…….205

Kuznetsov A. D., Serouhova O.S., Simakina T.E., Riaslov R.P. STATISTICAL ANALYSIS OF METEOROLOGICAL MEASUREMENTS FROM DRIFTING ARCTIC STATIONS FOR DIFFERENT DRIFT PATHS……205

Кузьмин К.А., Буковский М.Е., Чернова М.А. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РЕЛЬЕФА БАССЕЙНА МАЛОЙ РЕКИ ОКСКО-ДОНСКОЙ РАВНИНЫ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ КАРАЧАН……211

Kuzmin K.A., Bukovskiy M.E., Chernova M.A.MORPHOMETRIC INDICATORS OF THE RELIEF OF THE SMALL RIVER BASIN OF THE OKA-DON PLAIN ON THE EXAMPLE OF THE KARACHAN RIVER……211

Куприянова А.А., Гриценко В.А. ЛАБОРОТОРОНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИСКЛОНОВЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ ……216

Kupriyanova A.E., Gritsenko V.A. LABORATORY AND NUMERICAL MODELLING OF CONVECTIVE PROCESSES ABOVE SLOPING BOTTOM…….216

Лебедева Л.С. ИЗМЕНЕНИЯ ЗИМНЕГО СТОКА МАЛЫХ, СРЕДНИХ И КРУПНЫХ РЕК ЯКУТИИ……220

Lebedeva L.S. CHANGES OF WINTER FLOW OF SMALL, MEDIUM AND LARGE RIVERS IN YAKUTIA……..220

Лобанов В.А., Ризе Д.Д. СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА АНТАРКТИДЫ……224

Lobanov V.A., Rize D.D. CURRENT CLIMATIC CHANGES OF THE THERMAL REGIME ANTARCTICA……224

Лубков А.С., Сухонос О.Ю. О ПОТЕНЦИАЛЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА ……238

Lubkov A.S., Sukhonos O. Yu. ABOUT THE POTENTIAL USE OF WIND ENERGY RESOURCES IN THE CRIMEAN PENINSULA……238

Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Сазонов А.А., Ефимов В.А., Василенко А.Н. СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ УСТЬЯ Р.КОЛЫМЫ ПО МАТЕРИАЛАМ ЛЕТНЕЙ ЭКСПЕДИЦИИ В 2019 Г. ……243

Magritsky D.V., Frolova N.L., Agafonova S.A., Sazonov A.A., Efimov V.A., Vasilenko A.N. CURRENT HYDROLOGICAL STATE OF THE MOUTH OF THE KOLYMA RIVER BASED ON THE MATERIALS OF THE SUMMER EXPEDITION IN 2019……243

Магрицкий Д.В. КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ ГЛАВНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РФ……248

Magritsky D.V. CLIMATE-RELATED AND ANTHROPOGENIC CHANGES IN THE SUSPENDED SEDIMENT RUNOFF OF THE MAIN ARCTIC RIVERS OF SIBERIA AND THE RUSSIAN FAR EAST……..248

Макарова М.А., Шелутко В.А. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ВНУТРИГОДОВУЮ ДИНАМИКУ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СТОКЕ Р. ВЕЛИКАЯ……254

Makarova M.A., Shelutko V.A.IMPACT ASSESSMENT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE INTRA-ANNUAL DYNAMICS OF NUTRIENTS IN THE VELIKAYA RIVER RUNOFF……254

Мискевич И.В. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОГОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРИЛИВНЫХ УСТЬЯХ МАЛЫХ РЕК АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД……..259

Miskevich I.V. SOME FEATURES OF THE FORMATION OF HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITIONS IN THE TIDAL MOUTHS OF SMALL RIVERS IN THE ARCTIC SEAS IN WINTER……259

Михайловский Ю.П., Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Синькевич А.А., Аджиев А.Х., , Попов В.Б., Кашлева Л. В.ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ,

СПУТНИКОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПЕРЯЧЕЙКОВОГО ОБЛАКА……263

Mikhailovsky Yu.P., Abshayev M.T., Abshayev A.M., Sinkevich A.A., Adjyev A.H., Popov V.B., Kashleva. L.V. FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF RADAR, SATELLITE, AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF A SUPERCELL CLOUD……263

Михневич Г.С., Кречик В.А., Крек А.В., Данченков А.Р.АНТРОПОГЕННЫЙ ВКЛАД В ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОСАДКОВ ГДАНЬСКОЙ ВПАДИНЫ……268

Mikhnevich G.S., Krechik V.A., Krek A.V., Danchenkov A.R. ANTHROPOGENIC CONTRIBUTION TO THE FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE GDANSK BASIN……..268

Мханна А.И.Н. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ГОРОДЕ РОСТОВЕ-НА-ДОНУ ……..273

Mkhanna A.I.MAIN SOURCES OF POLLUTION AND ASSESSMENT OF THE ATMOSPHERIC AIR-CONDITION IN THE CITY OF ROSTOV-ON-DON……..273

Низамутдинов Т.И., Колесникова Е.В., Алексеев Д.К. ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА ЗДОРОВЬЮ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСК…….276

Nizamutdinov T.I., Kolesnikova E.V., Alekseev D.K. FEATURES OF THE SPATIAL AND TEMPORAL DISTRIBUTION OF HEALTH RISK FOR THE POPULATION OF ARKHANGELSK……...276

Никерина Н.В., Задонская О.В. ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА И ОТЧЕТНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО НАГРУЗКЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ В РАМКАХ ХЕЛЬСИНКСКОЙ КОМИССИИ…….280

Nikerina N.V., Zadonskaya O.V. FEATURES OF MONITORING AND REPORTING BY RUSSIAN FEDERATION ON LOADING OF POLLUTANTS IN FRAMEWORK OF THE HELSINKI COMMISSION…….. 280

Никитина А.В., Ляпунова И.А., Леонтьев А.Л., Филина А.А, Белова Ю.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕЛКОВОДНОГО ВОДОЕМА…….284

Nikitina A.V., Lyapunova I.A., Leontiev A.L., Filina A.A., Belova Yu.V. MATHEMATICAL MODELING OF ICHTIOLOGICAL PROCESSES IN SHALLOW WATER……..284

Педченко А.П., Бойцов В.Д.ОСОБЕННОСТИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНИЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ БАЛТИЙСКОГО И СЕВЕРНОГО МОРЕЙ ЗА 120 ЛЕТ……289

Pedchenko A.P., Boitsov V.D. FEATURES OF LONG-TERM VARIABILITY OF WATER TEMPERATURE IN THE BALTIC AND NORTH SEAS OVER 120 YEARS……289
Перерва Н. И., Шамилова Ю.А.ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОНВЕКЦИИ И СВЯЗАННЫХ С НЕЙ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИАМУРЬЯ……294

Pererva N. I., Shamilova Ju. A. EXPERIENCE OF USING SATELLITE DATA FOR MONITORING CONVECTION AND RELATED DANGEROUS WEATHER PHENOMENA IN THE AMUR REGION……294

Першина Н.А., Полищук А.И., Семенец Е.С. АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВЛАЖНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ О.БОЛЬШЕВИК В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ……298

Pershina N.A., Polischuk A.I., Semenets E.S.THE CHEMICAL COMPOSITION OF WET DEPOSITION ON THE BOLSHEVIK ISLAND TERRITORY OF THE NORTH EARTH ARCHIPELAGO……298

Поздняков Ш.Р., Кондратьев С.А. ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО – ГЕОСТРАТЕГИЧЕСКИЙ ВОДНЫЙ ОБЪЕКТ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СЕВЕРО-ЗАПАДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ……303

Pozdnyakov Sh.R., Kondratyev S.A. LAKE LADOGA - A GEOSTRATEGIC WATER BODY DEFINING THE LIFE IN THE NORTHWESTERN TERRITORIES OF RUSSIA ……303

Проценко С.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ТРЕХМЕРНЫХ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕЛКОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ ……309

Protsenko S.V. SPATIAL THREE-DIMENSIONAL WAVE PROCESSES MATHEMATICAL MODELING IN SHALLOW WATER BODIES ……309

Сазонов А.Д., Закруткин В.Е. ДИНАМИКА ВОДНОГО СТОКА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕКИ ТУЗЛОВ (РОСТОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)……313

Sazonov A.D., Zakrutkin V.E.WATER RUNOFF DYNAMICS AND ECOLOGICAL PROBLEMS OF THE TUZLOV RIVER (ROSTOV REGION, RUSSIA)……...313

Саноцкая Н.А. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕННЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕК БАССЕЙНА Р. ПУР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ……317

Sanotskaya N. SPECIFIC FEATURES OF DETERMINING THE PROVIDED WATER FLOWS OF THE RIVERS OF THE RIVER PUR BASIN UNDER CLIMATE CHANGE ……317

Серых И.В., Сонечкин Д.М. ГЛОБАЛЬНАЯ АТМОСФЕРНАЯ ОСЦИЛЛЯЦИЯ – ПРЕДИКТОР ЭЛЬ-НИНЬО И ЛА-НИНЬЯ……322

Serykh I.V., Sonechkin D.M GLOBAL ATMOSPHERIC OSCILLATION - PREDICTOR EL NINO AND LA NINA……322

Сидорова М.В., Кашутина Е.А., Черенкова Е.А. ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО СТОКА И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК В 21 ВЕКЕ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ……327

Sidorova M.V., Kashutina E.A., Cherenkova E.A. THE RIVER RUNOFF AND ITS CHARACTERISTICS CHANGES IN THE EUROPEAN TERRITORY OF RUSSIA IN THE 21ST CENTURY……...327

Сухинов А.И., Сидорякина В.В. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕФОРМИРОВНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА ПРИБРЕЖНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИИ АЗОВСКОГО МОРЯ……..332

Sukhinov A.I., Sidoryakina V.V. NUMERICAL SIMULATION OF THE REFORMING OF THE BOTTOM RELIEF OF COASTAL SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF THE SEA OF AZOV…….332

Соколов А.А., Иванов В.В.АДВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОС ЧЕРЕЗ КАРСКОЕ МОРЕ…….335

Sokolov A.A., Ivanov V.V.ADVECTIVE HEAT AND MASS TRANSFER ACROSS THE KARA SEA……335

Соломонова И.В., Дианский Н.А., Гусев А.В. НОВЫЕ МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА АРКТИКИ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННОГО СЦЕНАРИЯ……340

Solomonova I.V., Diansky N.A., Gusev A.V.ESTIMATION OF LONG-TERM VARIABILITY OF AIR TEMPERATURE IN THE ARCTIC BASED ON A COMBINED SCENARIO…….340

Соломонова И.В., Фролов А.В. ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ И ДИСПЕРСИИ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА В БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ……345

Solomonova I.V., Frolov A.V. FEATURES OF VARIABILITY OF MONTHLY AVERAGE VALUES AND DISPERSION OF WATER BALANCE COMPONENTS IN THE NORTHERN DVINA BASIN……345

Травкин В.С., Белоненко Т.В. КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ ЛОФОТЕНСКОЙ КОТЛОВИНЫ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ……350

Travkin V.S., Belonenko T.V. KINETIC AND POTENTIAL ENERGY OF THE LOFOTEN BASIN BASED ON SATELLITE DATA…….350

Третьяков А.Р.ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ СВАЛКИ В ПРИОЗЕРСКОМ РАЙОНЕ…….353

Tretyakov A.R. ENVIRONMENTAL ASPECTS OF LANDFILL RECLAMATION IN THE PRIOZERSK DISTRICT……353

Третьяков В. Ю., Дмитриев В. В., Федорова И. В. ИМИТАЦИЯ АДАПТАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОЗЕРА АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ К БЫСТРОМУ ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА……358

Tretyakov V. Yu., Dmitriev V. V., Fedorova I. V. THE ECOLOGICAL SYSTEM OF THE ARCTIC ZONE LAKE TO THE RAPID CLIMATE CHANGE……358

Урусова Е.С.ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ УРОВНИ ЗАГРЯЗНЁННОСТИ МАЛЫХ РЕК УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ…….363

Urusova E.S.EXTREME LEVELS OF SMALL RIVERS POLLUTION IN URBAIN ARIAS ……363

Федосеева Н.В., Лопуха В.О. АНАЛИЗ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОВИХРЕЙ В АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ……367

Fedoseeva N.V., Lopukha V.O.ANALYSIS OF THE POLAR MESOSCALE STORM TRACKS OVER THE BARENTS SEA WITH SATELLITE IMAGERY……...367

Фролов Д.М. СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В РОССИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА ……370

Frolov D.M. MODERN VARIATIONS OF CLIMATE IN RUSSIA AND THEIR INFLUENCE ON GROUND FREEZING DEPTH VARIATIONS…….370

Харыбина А.С., Юмашева А.К., Малышонок А.М. ОЦЕНКА ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮГЕ ОСТРОВА САХАЛИН…….373

Kharybina A.S., Yumasheva A.K., Malyshonok A.M. ASSESSMENT OF NATURAL HAZARDS AND PHENOMENA TO ENSURE THE SAFETY OF OIL AND GAS FACILITIES IN THE SOUTH OF SAKHALIN ISLAND……373

Чанцев В.Ю.ФОРМИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ЯЧЕЙКИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ БАРБОТАЖА…….379

Chantsev V.Yu. FORMATION OF A VERTICAL CIRCULATION CELL UNDER THE ACTION OF BUBBLING……379

Чижова Ю.Н., Киреева М.Б., Тебенькова Н.А., Горбаренко А.В., Косицкий А.Г. РАСЧЛЕНЕНИЕ ГИДРОГРАФА СТОКА МАЛОЙ РЕКИ ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИМ И ИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ…….382

Chizhova Ju., Kireeva M., Tebenkova N., Gorbarenko A., Kositsky A. HYDROGRAPH SEPARATION OF A SMALL RIVER RUNOFF BY THE GRAPHOANALYTIC AND ISOTOPIC METHOD……382

Чистяков А.Е., Кузнецова И.Ю. , Проценко Е.А., Атаян А.М. ВЛИЯНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТРАНСПОРТ ВЗВЕСЕЙ И НАНОСОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ВОДОЁМОВ……385

Chistyakov A.E., Kuznetsova I.Y., Protsenko E.A., Atayan A.M.THE INFLUENCE OF WAVE PROCESSES ON TRANSPORT OF SUSPENSIONS AND SEDIMENTS IN THE COASTAL ZONE OF WATERS……385

Шапкин Б.С., Рубченя А.В., Иванов Б.В., Ревина А.Д. ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ НА ФОНЕ АРКТИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ……390

Shapkin B., Rubchenia A., Ivanov B., Fedorova A.CHANGES OF ICE CONDITIONS IN REGION OF WEST ARCTIC IN THE CONTEXT OF ARCTIC AMPLIFICATION ……390

Шаповалова К.О., Жильцова Е.Л. ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ПРИРОДНЫХ И ХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ В ЗОНЕ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ РОССИИ ……394

Shapovalova K.O., Zhiltsova E.L. VULNERABILITY ASSESSMENT OF NATURAL AND ECONOMIC SYSTEMS IN PERMAFROST ZONE OF RUSSIA……..394

Шестакова А.А., Репина И.А., Мысленков С.А. ПОВТОРЯЕМОСТЬ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ, СВЯЗАННЫХ С ПОДВЕТРЕННЫМИ БУРЯМИ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ……399

Shestakova A.A. , Repina I.A. , Myslenkov S.A.FREQUENCY OF HAZARDOUS WEATHER EVENTS ASSOCIATED WITH DOWNSLOPE WINDSTORMS IN THE RUSSIAN ARCTIC……399

Ширалиева О.Н., Гуришкина Н.В., Мякишева Н.В. ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕКИ ЛЕНА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ……403

Shiralieva O. N., Goryshkina N. V., Myakisheva N. V. WATER REGIME OF THE LENA RIVER IN MODERN CLIMATIC CONDITIONS…….403

Ширшова И.Ю., Задонская О.В.ОСОБЕННОСТИ ВОДНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЙИИ НА ПРИМЕРЕ ВОДОЕМОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ……..308

Shirshova I.Y., Zadonskaya O.V.SPECIFICITES IN THE WATER LEGISLATION OF THE RUSSIAN FEDERATION BY EXAMPLES OF LENINGRAD REGION LAKES ……408

Шишкина О.Д. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ОКРАИННЫХ МОРЕЙ И УСТЬЕВ РЕК……...410

Shishkina O.D. STUDY OF COASTAL HYDRODYNAMICS IN THE INTERACTION OF MARGINAL SEAS AND RIVER MOUTHS……..410

Шмакова М.В. ТВЕРДЫЙ СТОК ПРИТОКОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА……...415

Shmakova M.V. SOLID FLOW OF TRIBUTARIES OF LADOGA LAKE……415

Юмашева А.К., Харыбина А.С., Аковецкий В.Г. ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ РИСК-АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА ……420

Yumasheva A.K., Kharybina A.S, Akovetsky V.G. APPLICATION OF A COMPREHENSIVE RISK ANALYSIS METHODOLOGY FOR ASSESSMENT THE RISKS OF ARCTIC CONTINENTAL PLATE GEOECOLOGICAL HYDROCARBON FIELDS……..420

Юлин А.В., Павлова Е.А., Кашкова В.С., Шевелёва Т. В. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ЗАПРИПАЙНЫХ ПОЛЫНЬЕЙ КАРСКОГО МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ……425

Yulin A.V., Pavlova E.A., Kashkova V.S., Sheveleva T.V. RESEARCH OF REGIME OF FLAW POLYNYAS IN THE KARA SEA IN WINTER PERIOD……..425

Юсупов Ю.И., Тихоненко Н.Д. БЕЗОПАСНЫЙ ГОРОД – ПОДСИСТЕМА ГИС МЕТЕО……429

Yusupov Y.I., Tikhonenko N.D. SAFE CITY – GIS METEO SUBSYSTEM……429

Яговкина Е.А., Хаймина О.В., Кубышкин Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА ДЛЯ ПРОГНОЗА НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В ОБСКОЙ ГУБЕ……434

Iagovkina E.A., Khaimina O.V., Kubyshkin N.V. THE USAGE OF NEURAL NETWORKS FOR PREDICTION OF NON-PERIODIC SEA LEVEL FLUCTUATIONS IN THE OB BAY……434

Ясинский Н.С., Полунин А.Я.
РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТЫ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА GISMETEO.HYDRO, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ АВТОМАТИЗИРОВАННУЮ СИСТЕМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДОВ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ОСНОВЕ

СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА……...439

Yasinskiy N., Polunin A.
DEVELOPMENT OF AUTOMATED FLOOD DISCHARGE FORECASTING SYSTEM AS A COMPONENT OF GISMETEO.HYDRO PACKAGE BASED ON COUPLING OF METEOROLOGICAL MODELS DATA AND FLOW GENERATION MODEL ……439