

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1я43
С23

С23 Сборник трудов V Юбилейной Всероссийской конференции "Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития" имени Л. Н. Карлина / MGO-2021 и II Конференции "Авиационная и спутниковая метеорология 2021". — М. Издательство Перо, 2021. — Мб. [Электронное издание]

ISBN 978-5-00189-825-2

При поддержке и содействии:

- Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга
- Комитета Санкт-Петербурга по делам Арктики
- Федерального Агентства Водных Ресурсов Невско-Ладожского Бассейнового водного управления
- АО «Технопарк Санкт-Петербурга» и Русского географического общества.

Организатор: Организатор деловых мероприятий ООО «Инпроэкспо»

Уполномоченный представитель научно-экспертного совета конференции
Малинин В. Н. - доктор географических наук

УДК 551.5+574
ББК 26.23:20.1я43

ISBN 978-5-00189-825-2

© Авторы, 2021

ISBN 978-5-00189-825-2



**Сборник трудов V Юбилейной Всероссийской
конференции
"Гидрометеорология и экология: достижения и
перспективы развития"
имени Л. Н. Карлина / МГО-2021
и II Конференции
"Авиационная и спутниковая
метеорология 2021"**

Издательство «Перо»
109052, Москва, Нижегородская ул., д. 29-33, стр. 27, ком. 105
Тел.: (495) 973-72-28, 665-34-36

Подписано к использованию 17.12.2021. Объем Мбайт.
Электрон. текстовые данные. Заказ 1181.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВА-
НИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА
НА РЕКАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

С.А. Агафонова¹, Л.С. Банщикова²

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет,
Москва, Россия

² Государственный гидрологический институт, Санкт-
Петербург, Россия

*В работе проанализирована пространственно-временная изменчи-
вость характеристик сезонной динамики толщины льда на реках.
Основным источником данных стали материалы наблюдений на
сети постоянно действующих постов в период с 1978 по 2019 гг.*

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВА-
НИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА
НА РЕКАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ

S. A. Agafonova¹, Banshchikova L.S.²

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Moscow, Russia

² State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

*The spatial and temporal variability of the characteristics of seasonal
dynamics of ice thickness on rivers has analyzed in the paper. The main
data source was the materials of observations at hydrological stations
for the period from 1978 to 2019.*

Ключевой характеристикой ледового режима в период ледостава является толщина льда. Толщина ледяного покрова и общее его состояние определяет грузоподъемность ледовых переправ, значения толщины льда используются при расчетах ледовых нагрузок на гидротехнические сооружения, от толщины льда перед вскрытием зависят условия прохождения весеннего ледохода и образования заторов.

Исследуемая территория – Арктическая зона России. Ледовые явления здесь наблюдаются большую часть года (от 180 сут. на реках Карелии до 260 сут. на реках Восточной Сибири). Средняя продолжительность ледостава меняется по территории от 4,7 до 8,4 месяцев.

Арктическая зона России неоднородна по условиям формирования ледового режима рек. Территория Кольского полуострова и Карелии – часть Балтийского кристаллического щита, с преобладающими таежными и болотными ландшафтами. Ледовый режим рек района формируется преимущественно под воздействием местных специфических условий. Например, длительный период замерзания и неустойчивый ледостав характерен для порожистых участков, истоков из озер и нижних бьефов ГЭС, здесь образуется много шуги [1].

Север Восточно-Европейской равнины в пределах Арктической зоны включает низовья Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры. Основное направление течения перечисленных рек – с юга на север, вскрываются реки преимущественно по динамическому типу с образованием заторов. Исключения составляют карстовые реки, здесь весенний ледоход непродолжительный или не наблюдается вовсе.

Для склонов хр. Пай-Хой и Полярного Урала, где берут начало притоки Печоры и Оби, характерны высотная поясность, на склонах все лето сохраняются снежники [2]. Западные склоны Урала более увлажнены, реки порожистые, со

значительным уклоном, часто пропиливающие хребты в широтном направлении. Сток с восточного склона незначителен, уклоны на нем меньше [3].

Территория Западной Сибири в пределах Арктической зоны расположена в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты и представляет собой низменную заболоченную равнину. Широтная зональность здесь ярко выражена: с севера на юг сменяют друг друга тундра, лесотундра и тайга. Долины крупных рек широкие, с крутыми, обрывистыми правыми берегами и широкими террасированными левыми.

В нижнем течении р. Обь ярко выражена пойменная многоруканность. Большая и Малая Обь соединяются многочисленными поперечными протоками. Малые реки долин практически не образуют. В пределах региона расположено более 300 тыс. озер [3]. Особенно много озер на полуострове Ямал и на Гыданском полуострове, а также в бассейне р. Пур.

Средняя и Восточная Сибирь также относится к зоне распространения многолетней мерзлоты. Климат здесь суровый резко континентальный с наиболее продолжительным периодом с отрицательными температурами воздуха. Зимой с ноября по март формируется устойчивый антициклон, погода преимущественно ясная морозная и безветренная [4]. Типичным ландшафтом является светлая лиственничная тайга на мерзлотно-таежных почвах, в северных провинциях преобладают тундры. В бассейне Лены повсеместно распространены термокарстовые котловины, морозобойные трещины, бугры пучения. На поймах рек часто встречаются аласные котловины. Вскрытие Енисея и Лены проходит на высоких уровнях воды и сопровождается образованием заторов, мощность которых возрастает к устью.

Северо-восток Арктической зоны включает горы, нагорья, хребты и низменные равнины. Характеристики ледового

режима рек определяются для данного района в том числе особыми гидрогеологическими условиями. Для отдельных участков (рр. Омолон, Большой и Малый Анюй и др), приуроченных к участкам накопления аллювия, в зимний период сохраняются полыньи, протяженностью в несколько десятков, а иногда и сотен километров [5]. В зимний период сток рек сокращается, значительная часть рек промерзает. Для рек с площадью водосбора менее 1000 км² продолжительность бессточного периода составляет более 200 сут.

В работе в качестве исходных данных использовались материалы наблюдений за толщиной ледяного покрова и высотой снега на льду за период с 1978 по 2019 гг. Всего выбрано 165 гидрологических постов с площадью водосбора более 5000 км² в пределах Арктической зоны России и на прилегающей территории: 42 поста в европейском секторе и 123 в азиатском секторе Арктики.

Согласно [6], на реках, где ледостав устанавливается смыканием заберегов, начальная толщина льда составляет от 2–5 см, на реках, замерзающих по зажорному типу – до 20–30 см. Нарастание ледяного покрова происходит за счет кристаллизации воды на его нижней поверхности, промерзания шуги, а также за счет образования снежного льда и в результате развития наледных процессов [7].

Для рек Арктической зоны получена зависимость средней толщины льда в начале ледостава (на конец декабря для европейской части и на конец ноября для азиатской) от значений суммы температур воздуха и количества твердых осадков. Подобные зависимости могут быть использованы для неизученных рек исследуемой территории. Для азиатской части в качестве предикторов используется сумма температур воздуха ниже -5°C и сумма твердых осадков за октябрь и ноябрь, а для европейской части – сумма температур воздуха ниже -5°C за ноябрь и декабрь и сумма твердых осад-

ков за октябрь. Коэффициенты корреляции предложенных зависимостей составляют 0,75 для Сибири и 0,80 для европейской территории. Оценка качества методик на независимом материале показала, что метрика RMSE для азиатской части составляет 7 см, относительная ошибка около 16%, а для европейской территории – 3 см, относительная ошибка около 9%.

Для арктических рек максимальных значений толщина ледяного покрова достигает в последний месяц ледостава (для рек европейской части – в апреле, для рек Сибири – в мае). Самые высокие значения регулярно наблюдаются в низовьях р. Оленек, в дельте Лены и в верховьях бассейна р. Яна. Здесь в половине и более случаев толщина льда к концу ледостава составляет 2 м и более (рис. 1). Для европейского сектора Арктики и большей части Западной Сибири максимальная за год толщина льда превышает 1,0 м лишь в 25% случаев. Для низовьев Онеги, рек Кольского полуострова и Карелии в теплые зимы толщина льда к концу ледостава может составлять лишь 40–50 см.

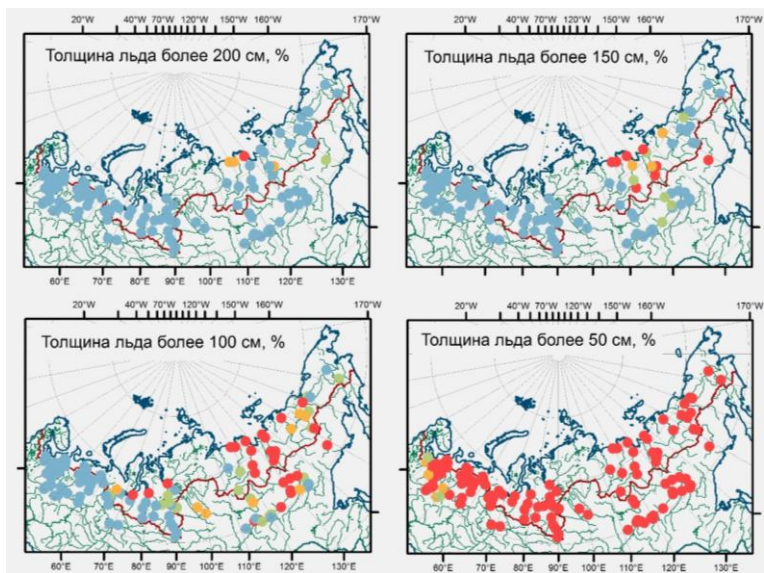


Рис. 1. Повторяемость значений максимальной толщины льда выше заданной:
 ● – менее 25%, ● – 26 – 50%, ● – 51 – 75 %, ● – более 75%.

Для расчета средней максимальной толщины льда состав предикторов также различается по территории: для рек европейского сектора предлагается использовать сумму температур воздуха ниже -5°C и сумму твердых осадков за весь холодный сезон, для азиатского сектора – сумму температур воздуха ниже -5°C за весь холодный сезон и сумму твердых осадков только за ноябрь, т.е. в начале ледостава. В пределах исследуемой территории значения суммы температур воздуха ниже -5°C меняются от -1000 до -7000°C , соответственно "добавка" за счет температур воздуха будет составлять от 17

до 119 см. Коэффициент корреляции для европейской территории составил 0,83, для азиатской – 0,61. RMSE полной расчетной схемы на независимом материале – 10 см, относительная ошибка 11%. Наибольшие ошибки отмечаются прежде всего на реках Восточной Сибири и на северо-востоке территории. При значениях $S-5 \leq -5000^{\circ}\text{C}$ средняя толщина льда к концу ледостава для створов р. Большой Анюй – г.м.ст. Константиновская и р. Малый Анюй – с. Анюйск составляет менее 1 м, а для створов р. Адыча (Адыаччы) – г.п.Юрдюк-Кумах – более 2 м. Повышенные значения для данного региона связаны с образованием наледей, перемерзанием русла выше по течению или сдуванием снега с ледяного покрова, пониженные значения – с особыми гидрогеологическими условиями.

Арктическая зона России неоднородна по условиям формирования ледового режима рек. Средние значения характеристик ледового режима неизученных рек могут быть получены с помощью методик, основанных на зависимостях от климатических характеристик. Рассмотрены зависимости с такими климатическими характеристиками как сумма температур воздуха ниже 0 или -5°C , число дней с отрицательной температурой воздуха, а также сумма твердых осадков за различные периоды зимнего сезона. Высокие ошибки расчета отмечаются для створов с ярко выраженным влиянием на ледовый режим локальных факторов, таких как гидрогеологические особенности, высокие скорости течения, сброс теплых сточных вод, регулирование стока и другое. Значения толщины льда заданной обеспеченности могут быть получены с использованием региональных значений среднего квадратического отклонения и коэффициента асимметрии.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госбюджетной темы кафедры гидрологии суши географического фа-

Литература

1. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования – М.: ГЕОС, 2007 – 585 с.
3. География Сибири в начале XXI века. Т. 5. Западная Сибирь – Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2016 – 447 с.
2. Макунина А.А. Физическая география СССР – М.: Изд-во Московского университета, 1985 – 296 с.
4. География Сибири в начале XXI века. Т. 6. Восточная Сибирь – Новосибирск: Академическое изд-во “Гео”, 2016 – 396 с.
5. Аржакова С.К. Зимний сток рек криолитозоны России – СПб.: РГГМУ, 2001 – 209 с.
6. Донченко Р.В. Ледовый режим на реках СССР – Л.: Гидрометеиздат, 1987 – 247 с.
7. Чижов А.Н. Формирование ледяного покрова и пространственное распределение его толщины – Л.: Гидрометеиздат, 1990 – 126 с.

АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ИРТЫШ В СТВОРЕ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКОЙ ГЭС

Бабкин А.В.¹, Бабкин В.И.¹, Мадибеков А.С.², Мусакулкызы А.², Чередниченко А.В.³

¹Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

²Институт географии и водной безопасности, Алматы, Казахстан

³НИИ проблем биологии и биотехнологий КазНУ им «Аль-Фараби», Алматы, Казахстан

ANALYSIS, MODELING AND FORECASTING OF THE RUNOFF OF THE IRTYSH RIVER AT THE SECTION OF THE UST-KAMENOGORSK HYDROELECTRIC POWER PLANT

Babkin A.V.¹, Babkin V.I.¹, Madibekov A.S.², Mussakulkyzy A.², Cherednichenko A.V.³

¹State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

²Institute of Geography and water security, Almaty, Kazakhstan

³SRI problems of biology and biotechnology of the al-Farabi KazNU, Almaty, Kazakhstan

Временной ряд годового стока р. Иртыш у Усть-Каменогорской ГЭС анализировался и моделировался соответственно методами «Периодичностей» и автокорреляционным. При его анализе за 1961 – 2010 гг. были выявлены периоды водности, длиной 4, 8, 12 и 24 года. Разработанные модели использовались для расчетов поверочных прогнозов на 2011 – 2015 гг., которые оценивались на независимых данных.

The time series of the annual runoff of the Irtysh River at the Ust-Kamenogorsk Hydroelectric Power Plant was analyzed and modeled respectively by the method of «Periodicity» and by the autocorrelation method. For its analysis for 1961 – 2010 the periods of water content of 4, 8, 12 and 24 years were revealed. These models were applied for

computation of the training forecasts for 2011 – 2015, which were estimated by the independent data.

Введение

Река Иртыш, длиной 4248 км, берет свое начало на восточных склонах хребта Монгольский Алтай у границы Монголии и КНР, и, протекая по территории соответственно Синьцзян-Уйгурского автономного района Китая, Казахстана и России, впадает в реку Обь. Относится к бассейну Карского моря. Из общей протяженности реки 618 км приходится на Китай, 1698 км – Казахстан и 1964 км – Россию. Водные ресурсы реки используются различными отраслями современного производства, включая гидроэнергетику, рыболовство, транспорт, и для орошения сельскохозяйственных земель [1]. Некоторые отрасли используют ресурсы речного стока с отводом их из гидрографической сети, к их числу относятся орошаемое земледелие, коммунально-бытовое, промышленное и сельскохозяйственное водоснабжение. Гидроэнергетика, рыбное хозяйство, водный транспорт осуществляют свою деятельность в пределах водного объекта (речной сети), поэтому развитие методологии долгосрочного прогнозирования ее стока является актуальной научной задачей, имеющей важное практическое значение.

Материалы и методы

В настоящем исследовании временной ряд годового стока р. Иртыш у Усть-Каменогорской ГЭС проанализирован методами соответственно «Периодичностей» [2] и Автокорреляции [3, 4]. Ряд анализировался на интервале 1961 – 2010 гг., а на следующие его пять лет рассчитывались поверочные прогнозы, результаты которых оценивались на независимом материале.

Метод «Периодичностей» основан на аппроксимации временного ряда гидрологической характеристики синусоидальными функциями последовательно с пошаговым измене-

нием их периода. Для каждого значения периода методом наименьших квадратов оцениваются соответственно амплитуда, фаза наилучшей аппроксимирующей синусоиды, постоянное значение, около которого она колеблется, и ее сумма квадратических разностей со значениями исследуемого ряда.

В зависимости сумм квадратических разностей значений ряда и аппроксимирующих его синусоид от их периода у отдельных периодов отмечаются минимумы этих сумм. Такой минимум может быть признаком присутствия здесь скрытой гармоника.

Прогнозирование стока может проводиться по отдельным синусоидам и по их суммам. С этой целью могут отбираться гармоники, чья корреляция с анализируемым рядом выше определенного значения. При последовательном сложении выявленных синусоид корреляция их суммы с рядом должна соответственно возрастать.

Автокорреляционный метод, предложенный Ю.М. Алехиным, основан на множественной регрессии анализируемого ряда с рядами его же значений, последовательно сдвигаемых по времени на один год. В ходе его реализации формируется уравнение линейной регрессии, по которому на основе данных сдвинутых рядов рассчитывается модель прогнозируемой гидрологической характеристики. Поскольку значения всех сдвинутых рядов первого года поверочного интервала известны, уравнение регрессии позволяет получить прогноз гидрологической характеристики на этот год.

Параметры уравнения линейной регрессии рассчитываются при объединении парных коэффициентов корреляции исходного и сдвинутых рядов, а также сдвинутых рядов между собой, в корреляционную матрицу. Они оцениваются по отношениям определителей соответственно матриц второго, третьего и последующих миноров исходной корреляционной матрицы к определителю ее первого минора с учетом отношений средних квадратических отклонений соответствующих рядов [5]. По отношению определителей соответственно

корреляционной матрицы и матрицы ее первого минора может быть определен полный коэффициент корреляции анализируемого ряда и его модели.

В настоящем исследовании представлена модель, объединяющая исходный ряд и три сдвинутых ряда. Ранг корреляционной матрицы равен 4.

Рассчитанное по уравнению регрессии значение стока первого года поверочного интервала соответственно подставляется в исходный ряд. Этот ряд, удлинённый на одно значение, моделируется аналогичным образом и рассчитывается его прогноз на следующий год. Такая процедура обработки ряда повторяется до тех пор, пока не будет рассчитан сток на все годы поверочного интервала.

Оценка результатов погодичного прогнозирования на поверочном интервале производится по числу оправдавшихся прогнозов и по сумме квадратов ошибок предсказанного стока. Поверочный прогноз на год считается оправдавшимся, если его ошибка не превышает 0,674 среднего квадратического отклонения анализируемого ряда [6]. Успешный прогноз, полученный по любой методике, должен быть не хуже его результатов по среднему значению ряда.

Синусоидальная и автокорреляционная модели рядов

Среднее многолетнее значение стока р. Иртыш у Усть-Каменогорской ГЭС за 1961 – 2010 гг. составило 17,2 км³/год, среднее квадратическое отклонение – 2,68 км³/год. Допустимая ошибка прогнозирования, таким образом, оказалась равной 1,80 км³/год.

На рисунке 1 представлены соответственно колебания стока р. Иртыш в указанном створе, синусоида с периодом 24 года, у которой корреляция с его рядом η больше, чем у других, а также сумма всех выявленных гармоник, и автокорреляционная модель исходных данных. Сумма всех гармоник достаточно хорошо отражает анализируемый ряд. На макси-

мумы колебаний стока 1972 и 1988 гг. и на его минимум 1978 г. приходятся соответствующие экстремумы этой суммы.

Максимум стока 1972 г. также описывается соответствующим экстремумом автокорреляционной модели. Большинство ее экстремумов отстают по времени от соответствующих максимумов и минимумов стока р. Иртыш на один год.

При предсказании стока р. Иртыш у Усть-Каменогорской ГЭС на 2011 – 2015 гг. по среднему значению его ряда оправдалось 3 прогноза, относительная ошибка прогнозирования составила 0,735. По синусоиде с периодом 24 года и по сумме всех выявленных гармоник оказались верными соответственно по 4 прогноза. Их относительные ошибки равны соответственно 0,587 и 0,615. По автокорреляционной модели оправдалось также 4 прогноза, относительная ошибка этого прогнозирования составила 0,657.

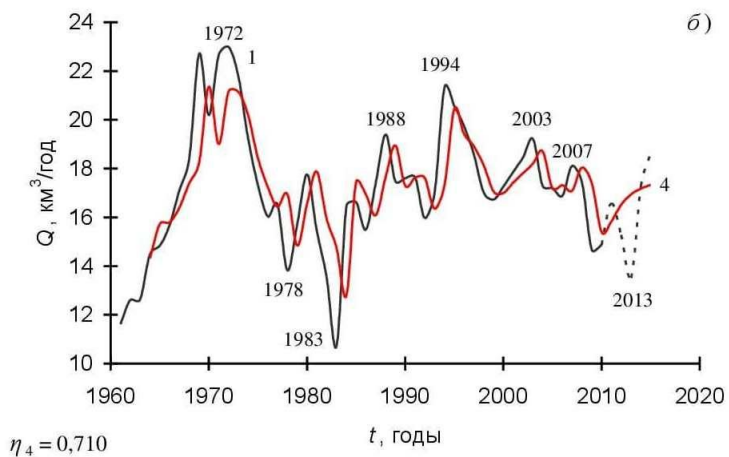
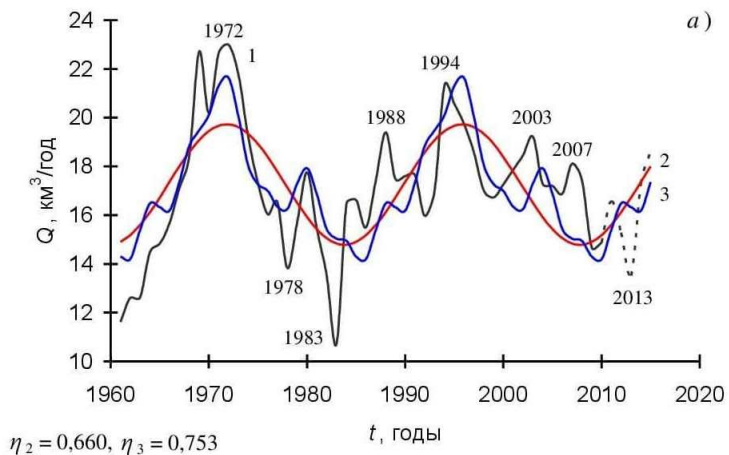


Рис. 1. Колебания стока р. Иртыш, Усть-Каменогорская ГЭС: 1 – временной ряд (пунктиром выделен интервал поверочного прогноза 2011 – 2015 гг.), 2 – синусоида с периодом 24 года, 3 – сумма синусоид с периодами соответственно 24, 12,

8 и 4 года, 4 – автокорреляционная модель исходного ряда и трех рядов его значений, последовательно сдвинутых относительно него на год

Выводы

Прогнозы стока р. Иртыш по всем использованным методикам оказались лучше, чем по среднему значению ее ряда. Самым лучшим оказался прогноз по синусоиде с периодом 24 года.

Несколько хуже оказались результаты прогнозирования по сумме всех выявленных гармоник. При равном количестве верных прогнозов здесь относительная ошибка оказалась выше, чем по одной синусоиде с наибольшей корреляцией с рядом. Хуже, чем по другим методикам, оказался прогноз, полученный по автокорреляционной модели.

Результаты прогнозирования стока р. Иртыш в указанном створе с использованием методов «Периодичностей» и Автокорреляции могут быть оценены, как не хуже, чем удовлетворительные. Представляет интерес анализ рядов стока этой реки в ряде створов на территории России и Казахстана. Выявленные в них гармоники с теми же периодами могут оказаться более достоверными и более пригодными для прогнозирования по сравнению с теми, которые получены только у одного ряда.

Таким образом, Автокорреляционная модель, и модели, составленные на основе метода «Периодичностей», лучше соответствуют колебаниям стока на поверочном интервале, чем линия среднего значения стока. По всем представленным моделям оправдалось соответственно по 4 прогноза, в то время как по среднему значению – только 3. Самая маленькая сумма квадратов ошибок прогнозирования – 12,36 (км³/год) 2 получилась по синусоиде с периодом 24 года, а по сумме синусоид ее значение оказалось равным 13,57 (км³/год) 2. По автокорреляционной модели сумма квадратов ошибок составила 15,44 (км³/год) 2, а по среднему значению ряда – 19,37

(км³/год) 2. Результаты прогнозов по всем разработанным в настоящем исследовании моделям следует оценивать, как не хуже, чем удовлетворительные.

Литература

- 1 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.
- 2 Бабкин А.В. Усовершенствованная модель оценки периодичности изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря // Метеорология и гидрология. 2005. № 11. С. 63–73.
3. Алехин Ю.М. Статистические прогнозы в геофизике. Л.: ЛГУ, 1963. 86 с.
4. Алехин Ю.М. О некоторых проблемных вопросах динамико-статистического метода прогнозирования // Труды ЛГМУ, 1975. Вып. 56. С. 3–21.
5. Романовский В. Математическая статистика. Москва–Ленинград: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1938. 528 с.
6. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 419 с.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С РЕАЛЬНОЙ КАРТИНОЙ НАБЛЮДАВШИХСЯ ПОЖАРОВ

В.И. Акселевич, Г.И. Мазуров, К.Ш. Хайруллин

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова,
Санкт-Петербург

В докладе рассматривается проблема сравнения результатов расчета показателя пожарной опасности (ППО) с наблюдавшейся картиной распространения природных пожаров по данным Авиа-лесохраны, Комитета по природным ресурсам Ленинградской области и МЧС. Приводятся результаты ежедневных автоматизированных расчетов ППО и оценка их рядов. Обсуждается возможность построения карты с категориями пожароопасности и ее использования при прогнозе мест возникновения возгораний.

COMPARISON OF THE RESULTS OF THE CALCULATION OF THE FIRE DANGER INDICATOR WITH THE REAL PICTURE OF OBSERVED FIRES

V.I. Akselevich, G.I. Mazurov, K.Sh. Khairullin

Main Geophysical Observatory A.I. Voeikova, St. Petersburg

The report examines the problem of comparing the results of calculating the fire hazard indicator (PFR) with the observed pattern of the spread of wildfires according to the data of Avialesokhrana, the Committee for Natural Resources of the Leningrad Region and the Ministry of Emergency Situations. The results of daily automated calculations of the application software and an assessment of their series are presented. The possibility of constructing a map with categories of fire hazard and its use in predicting places of occurrence of fires is discussed.

Актуальность рассматриваемой тематики объясняется тем, что в период с 12 октября 2020 года по 4 октября 2021 года в нашей стране было зарегистрировано 92 834 оповещения о пожаре VIIRS, учитывая только оповещения с высокой степенью достоверности. Это необычно много по сравнению с предыдущими годами, начиная с 2012 года. С 2001 по 2020 год Россия потеряла 69,5 млн га лесного покрова, что эквивалентно сокращению лесного покрова на 9,1% с 2000 г. В 2020 году страна потеряла 5,44 млн га древесного покрова (0,71%), что эквивалентно 865 млн т выбросов CO₂.

Сегодня известно несколько способов получения информации о пожарах с помощью средств дистанционного зондирования [1, 2]. Ночью спутниковые системы на длине волны 2-6 микрометров фиксируют пожары. Инфракрасный диапазон позволяет оценивать температуру излучающих объектов независимо от времени суток и используется для анализа облачности, динамики пожаров, факелов, процессов подземной эрозии.

Своевременное обнаружение очагов пожаров — одна из актуальнейших задач МЧС и ФБУ «Авиалесоохрана». Её эффективному решению способствует применение воздушных средств дистанционного авиамониторинга, снабжённых бортовой аппаратурой различного спектрального диапазона [3]. Известны методы и средства использования тепловизионной и радиотепловой аппаратуры, визуального обнаружения и т.п. Однако они не приспособлены автономно определять координаты очага пожара, а привлечение для этих целей системы спутниковой навигации, не может обеспечивать достаточной надёжности их работы, что связано с возможностью появления нештатных ситуаций при обострении международной обстановки [2].

Одним из перспективных методов дистанционного обнаружения очагов пожара может стать использование на борту авиационного носителя ультрафиолетовых (УФ-С) сенсоров [4], которые регистрируют ультрафиолетовое излучение в диапазоне 250–280 нм. Потенциальная дальность обнаружения небольшого пожара площадью около 1,5 га составляет от 2,4 до 4,7 км в зависимости от степени задымлённости трассы зондирования.

Показатель пожароопасности (ППО) будем считать раз в сутки. Он характеризует состояние, в первую очередь, атмосферы. В качестве исходной информации для расчета ППО будем использовать результаты наблюдений за погодными параметрами в мае-сентябре 2015 года на метеостанциях Ленинградской области. Указанный показатель согласно [5] принято вычислять следующим образом.

Зависимость пожароопасной обстановки от условий погоды на практике оценивают по следующему эмпирическому уравнению:

$$P_n = \sum_{j=1}^n (t x \Delta), \quad (1)$$

где:

P_n – показатель пожароопасности;

t – температура приземного воздуха в 13 ч. местного времени ($^{\circ}\text{C}$);

Δ - дефицит точки росы каждого дня, равный разности температуры воздуха и точки росы каждого дня считая последний день выпадения осадков первым днем;

J – порядковый номер дня после последнего дождя;

n - количество дней без осадков.

Для отдельного пункта и конкретного времени ППО вычисляется по формуле В.Г. Нестерова, где t берется в срок 13 часов местного времени. $\Delta = t - t_d$, где t_d - точка росы за тот же срок. При этом за n можно брать и количество дней без осадков и число дней с суточными осадками менее 3 мм. Суточное количество осадков определяется как полусумма суточных осадков за прошедший день и последнюю ночь.

Практика применения показателя В.Г. Нестерова и шкалы пожарной опасности лесов выявила ряд недостатков [6]. Среди них отсутствие физического смысла в формуле (1). Не совсем удачно учитывается влияние осадков, турбулентного обмена, солнечного излучения, испарения и конденсации. Тем не менее ППО остается одним из лучших индексов, описывающих условия пожароопасности.

Необходимо построить поле расчетных ППО для каждого дня. Для каждого дня есть очаги пожаров и их координаты. Основная характеристика пожара - это его наличие. Сравнение результатов расчета ППО с фактическими возгораниями представляет собой достаточно сложную логическую задачу.

Дело в том, что ППО, как правило, рассчитывается по данным метеостанции один раз в сутки, а пожары имеют конкретные координаты и время начала и окончания.

Таблица 1. Максимальные и среднемесячные значения ППО по 12 метеостанциям Ленинградской области за май-сентябрь 2015 года, а также средние значения ППО на станциях в случае наблюдения хотя бы одного пожара на удалении 50 и 100 км от метеостанции.

Индекс метеостанции	Май	Июнь	Июль	Август	сентябрь	50 км	100 км
22806 макс	2676	2615	3307	4460	1824		
Сред	1031,4	803,1	823,4	1441,5	664,1	1678,6	1566
22891 макс	2517	3111	3421	4199	1827		
Сред	731,6	1095,4	745,7	1596	526,4	2015,9	1613,8
22892 макс	1546	1450	1275	3719	1681		
Сред	477,6	404,8	360,6	1175,7	545,6	1260,9	1092,3
22913 макс	2397	4641	2323	4071	1477		

Сред	731, 7	1783 ,8	381, 5	1208, 6	454,6	1660	1373 ,8
22917 макс	2806	1891	194 9	2877	1661		
Сред	637	670, 7	430, 3	810	543	1823 ,7	1650 ,2
22925 макс	3287	4107	226 5	3315	1472		
Сред	925, 8	1543 ,7	406, 7	799	326,9		2283 ,3
26059 макс	2778	6963	367 1	3760	2947		
Сред	968	3389 ,9	744, 5	1130, 8	1389,3	3969 ,5	3329
26060 макс	1478	3105	223 3	2529	1630		
Сред	587, 7	1216 ,4	441, 7	769,9	666,9	1280 ,9	1285 ,5
26064 макс	2744	4563	246 8	2310	1538		
Сред	1051 ,2	2294 ,8	534, 3	783	627,9	1968 ,2	1799 ,2
26067 макс	2345	4989	377 1	4327	2344		
Сред	846, 6	1779 ,8	702, 3	1364, 8	812,8	2339 ,6	2112
26069 макс	1447	4159	332 6	3902	2004		
Сред	475, 6	1582 ,4	736, 6	1228, 8	680,9	1683 ,1	1869 ,6

26078 макс	2599	2047	301 1	3975	1626		
Сред	696, 1	584, 7	644, 6	1329	674,5	1984	1526 ,4

В табл. 1 представлены максимальные и среднемесячные значения ППО по 12 метеостанциям Ленинградской области за 2015 год, а также средние ППО для случаев, когда пожар наблюдался в 50 и 100 км от метеостанции. 12 описанных станций показаны на фрагменте картосхемы метеостанций Ленинградской области (рис. 1).

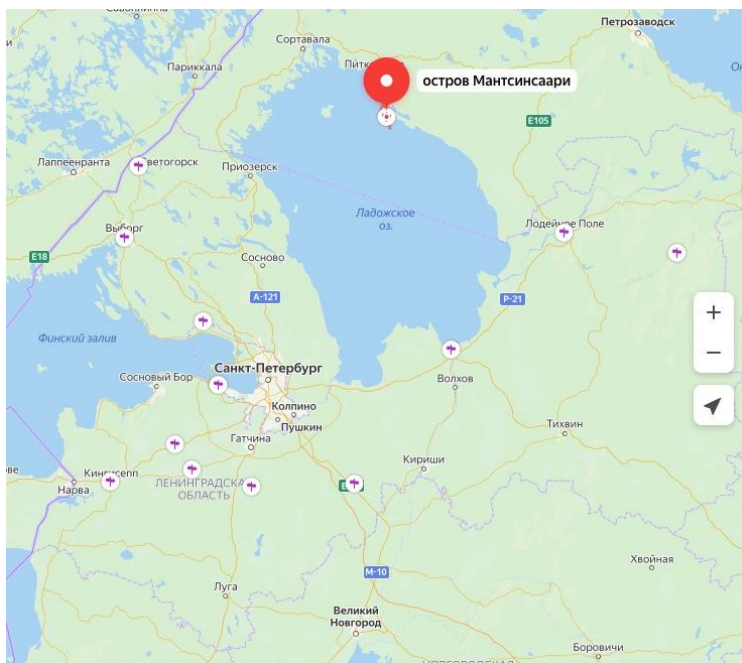


Рис. 1 Карта метеостанций Ленинградской области

Из табл. 1 видно, что для выбранных 12 станций максимальное значение ППО составило 6963 оно наблюдалось на метеостанции Кингисепп (26059) в июне. Наибольшее среднемесячное значение ППО составило в том же июне в Кингисеппе 3389,9, среднее значение ППО в случаях, когда пожары наблюдались в радиусе до 50 км от метеостанции, и когда пожары фиксировались в радиусе до 100 км от метеостанции,

также характерно для Кингисеппа и составило 3969,5 и 3329 соответственно.

Вообще величина суточного ППО на всех станциях имеет в своем годовом ходе несколько пиков различной величины и продолжительности. Несколько подробнее рассмотрим 44 дня в теплый период 2015 года. Из них в период 15 дней наблюдались пожары. В течение одного дня отмечено до 8 возгораний. Еще один день наблюдали 6 возгораний, один – 4 возгорания, 2 дня по 3 возгорания, 4 дня – по 2 возгорания и 6 дней по одному возгоранию.

В целом по России по данным ВЕГА-service в эти дни наблюдалось 8327 природных пожаров, из них лесных 4474, их суммарная площадь составила 693920 га, то есть в среднем 189 пожаров в день, 102 лесных пожара, 15771 км ежедневно проходилась пожарами. Максимальное количество пожаров было зафиксировано 9 мая (506), термоаномалий 10 мая (1926), лесных пожаров 10 мая (290), максимальная площадь, пройденная огнем 27 августа (90400 га).

Для определения различия между ППО на разных станциях можно рассчитать попарные среднеквадратические отклонения значений ППО и их коэффициенты корреляции. Можно посчитать среднее различие ППО за месяц, за сезон. Исходя из условия нахождения ППО выпадение осадков сразу обнуляет его значение. Поэтому вариации ППО ограничиваются максимумом величины ППО и нулем. Рассмотрим теперь процедуру восстановления полей ППО. В качестве отображения ППО строится поле показателя. Оно показано на рис. 2. Такие картосхемы были построены для каждого из 44 дней, для которых рассчитывался ППО.

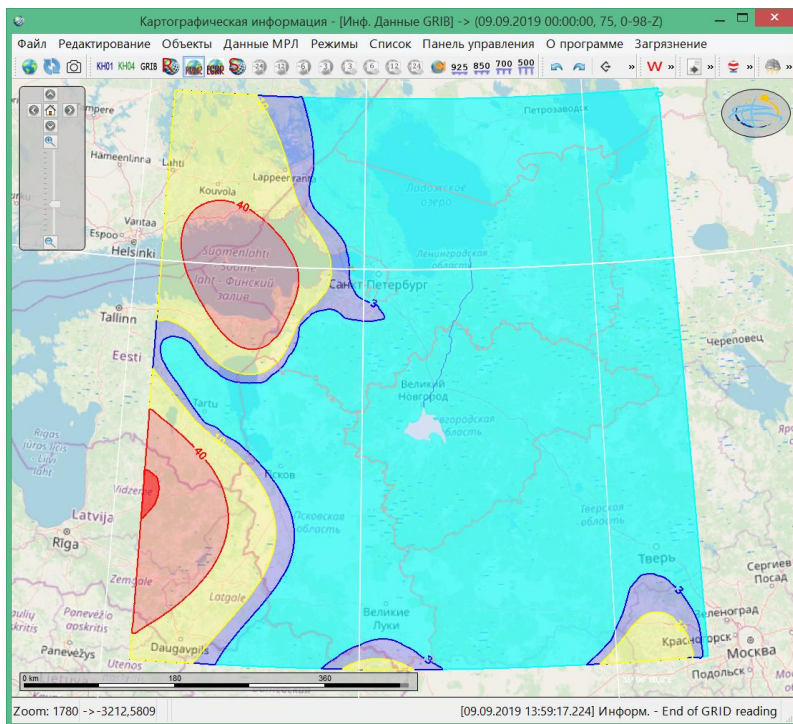


Рис. 2. Восстановленное поле ППО 29.08.2019. Красным цветом выделены районы с 5-й категорией пожароопасности исходя из восстановленных ППО, розовым - 4-й, желтым - 3-й, синим - 2-й, зеленым - 1-й

Анализ рис. 2 показывает, что 29.08.2015 пожары по восстановленному полю ППО не прогнозировались. Всего в 44-х случаях были получены следующие результаты (табл. 3)

Таблица 2. Результаты прогноза пожаров путем построения поля ППО

	Пожары были	Пожаров не было
Пожары прогнозировались	11	7
Пожары не прогнозировались	4	22

Таким образом, необходимы дальнейшие исследования по большей территории.

Литература

1. Ермаков Д. М., Поляков В. Д. и др. Разработка нового алгоритма восстановления интегрального влагосодержания атмосферы над сушей по данным спутникового радиотеплового мониторинга //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. №1. С. 31–41.
2. Егоров В. В., Калинин А. П. и др. Дистанционное обнаружение очагов пожара с помощью ультрафиолетового сенсора.

//Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. №4. С. 51–57.

3. Брюханов А.В., Коршунов Н.А. Авиационное тушение природных пожаров: история, современное состояние, проблемы и перспективы // Сибирский лесной журн. 2017. № 5. С. 37–54.

4. Белов А.А., Калинин А.П. и др. Монофотонный сенсор ультрафиолетового диапазона «Скорпион» // Датчики и системы. 2010. № 1. С. 47–50.

5. Нестеров В. Г. Вопросы современного лесоводства. М.: Сельхозгиз, 1961. 384 с.

6. Козлов В.Н., Коршун Н.А. Метеорологический индекс пожарной опасности лесов. // Метеоспектр, 2013, №1, С. 85-95.

РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ И ПРОШЛЫХ КЛИМАТИ- ЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

И.И.Борзенкова, Е.Л.Жильцова, А.А.Ершова,
К.О.Шаповалова

Государственный гидрологический институт, Санкт-
Петербург, Россия

ARCTIC VEGETATION IN FRAME OF THE CURRENT AND PAST CLIMATE CHANGES

I.I.Borzenkova, E.L.Zhiltsova, A.A.Yershova, K.O.Shapovalova

State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

Реконструкции растительности для теплых эпох прошлого (потеплений голоцена и межледниковий позднего плейстоцена), выполненные по косвенным данным, свидетельствуют о том, что во время этих потеплений граница лесной растительности значительно продвигалась к северу, а в отдельные теплые межледниковья зона тундры практически исчезала, замещаясь лесной или лесотундровой растительностью. Современное повышение глобальной температуры по сравнению с доиндустриальным уровнем составляет около 1°C и уже сравнимо с потеплением в раннем и среднем голоцене, когда отмечались значительные изменения в тундровой зоне и продвижение к северу лесной растительности.

Reconstructions of vegetation for the warm periods of the past (Holocene warm periods and Late Pleistocene interglacials), based on indirect data, indicate that forest line advanced significantly to the north during these warmings, with tundra almost disappearing and replacing by forest or forest-tundra vegetation in particular warm interglacials. Recent increase of global temperature is about 1°C above pre-industrial levels and already comparable to the Early and Mid-Holocene warming, characterized by significant changes in the tundra and the forest line advance to the north.

Введение

По данным наблюдений, современное повышение глобальной температуры по сравнению с доиндустриальным уровнем составляет около 1°C и сравнимо с потеплением в раннем и среднем голоцене [1]. В связи с этим возникает вопрос, насколько растительность высоких широт отреагировала на этот уровень потепления (как известно в высоких широтах температура воздуха повышается в 2-2,5 раза быстрее по сравнению с ростом глобальной температуры) и существуют ли свидетельства её продвижения к северу и изменения видового состава.

Материалы и методы

Для такой оценки предлагается использовать несколько независимых подходов: 1) анализ данных наблюдений за изменениями в зоне тундры и лесотундры за последние десятилетия (40 лет и более); 2) данные косвенной палеоклиматической информации для периода быстрого и резкого потепления на границе позднеледниковье/голоцен (около 10 тысяч

лет назад); 3) палеоклиматические реконструкции для длительного теплого периода среднего голоцена (8-5 тыс. лет назад), который можно рассматривать в качестве аналога стационарного состояния глобального климата, прогнозируемого модельными оценками на середину и вторую половину 21 века; 4) сравнение современных данных о растительности высоких широт с данными моделирования на середину 21 века.

За последние десятилетия получен большой объем прямых наблюдений за динамикой растительности в тундровой зоне как в виде многолетних полевых исследований, так и в виде непрерывных рядов о состоянии растительности на биологических стационарах, расположенных за полярным кругом на Аляске, на севере Швеции и на Таймыре [2, 3, 4]. Кроме наземных данных для оценки динамики растительности используются спутниковые наблюдения (не менее чем за 40 лет), которые позволяют оценить изменение не только видового состава растительности, но и реальные сдвиги границ растительности в ответ на современное повышение температуры воздуха. Наблюдения за 30-летний период в тундровой зоне на Аляске, Юконе, на Лабрадоре, на северо-востоке Сибири и в Скандинавии (всего 117 мест обитаний) позволили отметить несколько ключевых признаков в изменении тундровой растительности в ответ на современные изменения температуры воздуха и увлажненности.

Изменение растительности высоких широт в ответ на современное потепление

Наиболее отчетливо изменения проявились для различных видов высоких (выше 50 см) тундровых кустарников, причем на всех местообитаниях влажность почвы оказалась определяющим фактором в оценке реакции растительности на климат [3, 4]. Данные годового прироста 25 видов многолетних древесных кустарниковых форм из 37 арктических местообитаний за летний период с 1950-2010 гг. показали, что наибольшая чувствительность к внешним факторам отмечается на северо-западе российской Арктики (Кольский п-ов и Большеземельская тундра) и в северной Европе, в то время как в Арктической Канаде связь между летней температурой и приростом древесных колец кустарниковой растительности слабая и неочевидная. Эти исследования подтвердили выводы, сделанные в работах [3, 4] о том, что высокие формы кустарников в тундровой зоне показывают более четкую связь с температурой воздуха по сравнению с низкорослыми видами. Вопрос о временном сдвиге (или задержке) реакции растительности в ответ на изменение внешних факторов и, прежде всего, температуры воздуха имеет ключевое значение для оценки будущих изменений в Арктической зоне. Как показали исследования [5], существуют значительные различия в скорости продвижения одиночных деревьев (1 дерево примерно на 1 га) и группы деревьев, формирующих границу леса. Для одиночных деревьев характерная скорость продвижения составляет примерно 1,6 м за год, в то время как группа деревьев может передвигаться со скоростью только 0,6 м за год. Таким образом, продвижение границы леса будет все время отставать по времени по сравнению с продвижением одиночных деревьев, и такое отставание будет только увеличиваться со временем.

Изменение растительности высоких широт во время глобальных потеплений в прошлом

Палеоклиматические материалы могут служить в качестве независимой информации об изменении границ растительности в высоких широтах при разных уровнях глобального потепления в прошлом. Анализ данных, полученный большим коллективом авторов в начале 2000-х годов, показал, что около 6 тыс. лет назад в конце длительного теплого периода, начало которого датируется около 8 тыс. лет назад, наиболее значительное смещение к северу границы лесотундровой растительности (примерно на 200 км) отмечалось в центральной Сибири [6].

Граница древесной растительности в арктических широтах Европы и в Центральной Сибири (район Лены) продвигалась к северу незначительно, примерно на 70 км, в то время как на Таймыре отмечалось её существенное продвижение к северу, примерно на 190 км. Обобщение большого количества наблюдений (в виде пыльцевых спектров) показало, что такие изменения характерны для установившихся (стационарных) климатических условий, когда в течение более 2000 лет температуры воздуха в высоких широтах превышали современные не менее, чем на 2.0–2.5°C, а в отдельных районах превышение достигало 3.0–4.0°C [6].

За последние десятилетия получен большой объем количественной информации о колебаниях климата за последние 15–16 тысяч лет. Хотя в последние годы обобщение косвенной палеоклиматической информации были предприняты, главным образом, в ряде зарубежных исследований, они содержат ограниченные сведения для российской части аркти-

ческой территории. Наиболее полное обобщение данных для Арктического пояса (севернее 60 с.ш.) для последних 2000 лет представлено в работах [6, 7, 8].

Среди российских исследователей создание банка информации об изменениях природной среды Европейского севера России за позднеледниковье-голоцен по данным озерных отложений было сделано в работе [9]. В нашей работе была предпринята попытка создания архива палеоклиматической информации в виде геологических разрезов, датированных радиоуглеродным и другими абсолютными методами, с содержанием данных о видовом составе растительности и о количественных показателях климата, а также изменениях окружающей среды в широтном поясе 60-80° с.ш. за последние 12 тыс. лет.

Архив палеоклиматических данных включает данные более 150 разрезов за последние 12 тыс. лет для арктической зоны северного полушария (севернее 60° с.ш.), причем около 90% разрезов содержат количественные данные о температуре воздуха. В дальнейшем эта информация будет представлена на сайте <http://www.permafrost.su> с возможностью её пополнения.

На рисунке 1 представлена карта геологических разрезов, на которую зелеными точками нанесена информация о современных изменениях растительности в зоне тундры и лесотундры, полученная во время полевых исследований (Информация была предоставлена сотрудником Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН В.Ю. Разживиным).

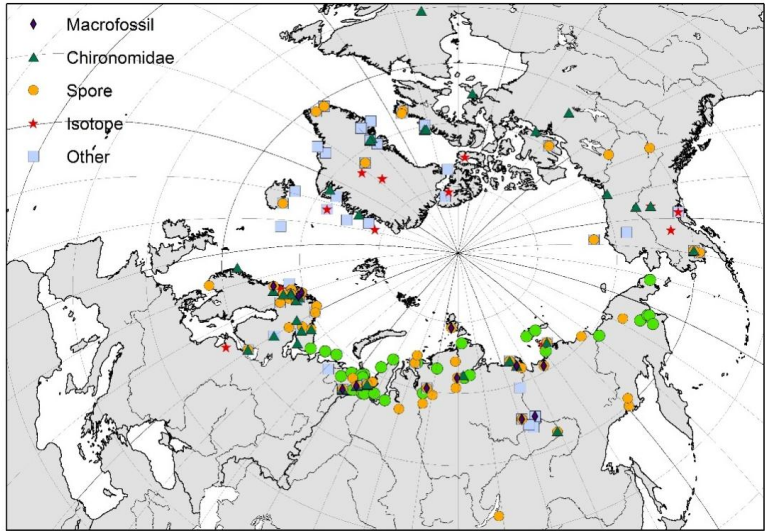


Рис. 1. Карта-схема расположения разрезов с данными о видовом составе растительности за последние 12000 лет. Зелеными точками обозначены районы, где отмечены изменения в растительном покрове за период последних десятилетий.

Анализ эмпирических данных, полученных из разных районов Арктики, дает основание полагать, что максимальное потепление в раннем голоцене определило и максимальное за последние 12 тыс. лет продвижение к северу (до 400-600 км) лесной и кустарниковой растительности. В зависимости от сектора Арктики смещение древесной растительности для таких индикаторных видов, как лиственница и береза, составляло от 400 до 600 км. Наиболее северное положение границы индикаторных видов отмечалось во время сравни-

тельно короткого, но сильного потепления раннего голоцена, когда сдвиг границы к северу составлял не менее 600 км. Во время длительного (около 2000 лет) потепления среднего голоцена северная граница этих видов несколько сместилась к югу и оставалась в стабильном положении в течение всего теплого периода среднего голоцена. Динамика северной границы древесных форм лиственницы и березы в разные эпохи голоцена в широтном поясе 65-75° с.ш. и 50°-160° в.д. представлена на рисунке 2 (а и б). Реконструкции выполнены на основе обширного эмпирического материала в виде макроостатков ископаемой растительности этих форм [7, 8].

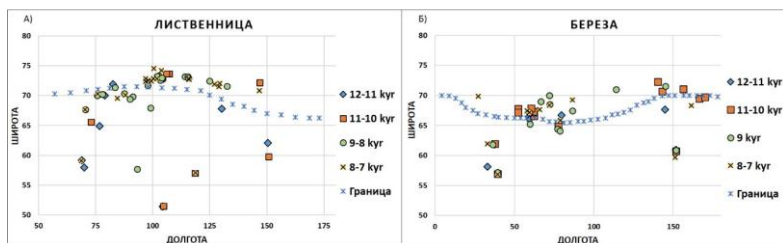


Рис. 2. Динамика северной границы лиственницы (а) и березы (б) в позднеледниковье-голоцене по данным макрофоссилий (макроостатков древесных форм). Модификация авторов по [7, 8].

Как видно из рисунка 2, во второй половине раннего голоцена, между 11 и 9 тыс. кал. лет назад, места находок макроостатков древесной растительности лиственницы и березы находятся значительно севернее их современной границы, в то время как в среднем голоцене между 7 и 5 тыс. кал. лет назад места границы смещаются к югу, ближе к их современ-

ным ареалам обитания. В западной части Арктики, в районе Большеземельской тундры, макроостатки березы (*Betula*) в раннем голоцене были обнаружены на широте около 72° с.ш., и это самая северная граница березы за последние 10000 лет. Необычайно высокие температуры воздуха в арктических широтах в раннем голоцене, полученные по палеоботаническим данным, подтверждают и другие независимые косвенные данные, например, геохимический анализ озерных осадков из трех озер на острове Свалбард [10].

Выводы

1. Современная растительность высоких широт уже отреагировала на повышение температуры высоких широтах, продвижением к северу границы крупных кустарниковых форм. Эти изменения проявились в виде эффекта «позеленения» Арктики.

2. Анализ эмпирических данных о динамике северной границы индикаторных видов древесной растительности (березы и лиственницы) за последние 12 тыс. лет показал, что наиболее северное положение их границ отмечалось во время сравнительно короткого, но сильного потепления раннего голоцена, когда сдвиг границы к северу составлял не менее 600 км.

3. Миграция видов к северу в настоящее время в связи с глобальным потеплением не будет равнозначной и подобной тому, что имела место в раннем голоцене во время инсоляционного максимума температуры и не может быть в полной мере сравнима с процессами в раннем и среднем голоцене. Однако палеоклиматические данные позволяют получить

независимые оценки возможной скорости миграции индикаторных видов и использовать их в модельных расчетах о смещении границ растительности в высоких широтах при развитии современного потепления.

Литература

1. UNFCCC2015 Adoption of the Paris Agreement FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/109r01.pdf>
2. Матвеева Н.В., Заноха Л.Л. Изменения во флоре сосудистых растений в окрестностях пос. Диксон (Западный Таймыр) с 1980 по 2012 г. Ботанический журнал, 2017, т. 102, № 6, с. 812-846.
3. Bjorkman, A. D., I. H. Myers-Smith, H. J. D. Thomas, S. C., Elmendorf, sTundra, ITEX, and Tundra Trait Team. Changes in plant functional traits across a warming tundra biome. Nature 2018, v. 562, p. 57–62. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0563-7>
4. Myers-Smith I.H., Elmendorf S.C., Beck P.S.A. et al. (32 authors). Climate sensitivity of shrub growth across the tundra biome. Nature climate change, 2015, v.5, p. 887–891. www.nature.com/natureclimatechange
5. Kruse S., Gerdes A., Kath N. J., Epp L.S., Stoof-Leichsenring K.R., Pestryakova L., Herzschuh U. Dispersal distances and migration rates at the arctic treeline in Siberia – a genetic and simulation based study Biogeosciences Discuss., 2018, <https://doi.org/10.5194/bg-2018-267>
6. Bigelow, N. H., et al., Climate change and Arctic ecosystems: 1. Vegetation changes north of 55°N between the last glacial maximum, mid-Holocene, and present. J. Geophys. Res., 108(D19), 8170, doi:10.1029/2002JD002558, 2003.
7. Binney H. et al. Vegetation of Eurasia from the last glacial maximum to present: Key biogeographic patterns. Quatern. Sci. Rev. 2016, v. 157, p. 80-97.

8. Briner, J.P. et al. Holocene climate change in Arctic Canada and Greenland. *Quatern. Sci. Rev.*, 2016, v. 147, p. 340-364
9. Субетто Д.А., Назарова Л.Б., Пестрякова Л.А., Сырых Л.С., Андронников А.В., Бискаборн Б., Дикманн Б., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Греков И.М. Палинологические исследования в Российской северной Евразии: обзор. *Сибирский экологический журнал*, 2017, №4, с. 369-380.
10. Van der Bilt, W. G. M., D'Andrea, W. J., Werner, J. P., & Bakke, J. (2019). Early Holocene temperature oscillations exceed amplitude of observed and projected warming in Svalbard lakes. *Geophysical Research Letters*, 46 <https://doi.org/10.1029/>

РЕЖИМ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ ПОТОКА И ТРАНСПОРТА НАНОСОВ В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В.К.Власов, А.А.Голубев, А.А.Костюченко
АО «Институт Оргэнергострой», г.Москва, Россия

На реке Ганг в районе АЭС Руппур измерены скорости течения и параметры донных гряд. Скорости измерены вертушкой Valeport-106 с периодом осреднения 3 с на относительных глубинах 0,2H и 0,8H. Получены кинематические параметры потока: периоды и интенсивность пульсаций. Кинематические характеристики потока сопоставлены с параметрами донных гряд.

REGIME OF PULSATIONS OF THE FLOW VELOCITY AND BEDLOAD DURING THE FLOOD PERIOD BY THE DATA OF FIELD MEASUREMENTS

V. K. Vlasov, A. A. Golubev, A. A. Kostyuchenko
JSC "Institute Orgenergostroy", Moscow, Russia

On the Ganges River near the Ruppur NPP, current velocities and parameters of bottom dunes were measured. The velocities were measured with a Valeport-106 propeller with an averaging period of 3 s at relative depths of 0.2H and 0.8H. The kinematic parameters of the flow are obtained: periods and intensity of pulsations. The kinematic characteristics of the flow are compared with the parameters of the bottom dunes.

Начало движения твердых частиц в речном потоке и формирование гряд, как структурных форм транспорта наносов, связано со структурой турбулентности. Однако механизм и причинно-следственные связи взаимного влияния кинематических структур потока и форм транспорта наносов (как шероховатости границ) слабо исследованы из-за недостатка эмпирического материала, особенно наблюдений в натуральных условиях [1]. В работе предпринята попытка проследить изменение параметров гидравлического режима, форм

транспорта влекомых наносов и режима турбулентности потока в нестационарном речном потоке в течение основных фаз гидрологического режима.

Характеристики гидравлического режима потока получены по результатам измерения расходов воды в гидрометрическом створе.

Изменение форм транспорта влекомых наносов были прослежены по фазам формирования и смыва донных гряд (рифелей), а также по геометрическим размерам донных гряд – высоте и длине.

Параметры режима турбулентности оценивались по величине ускорений потока в пульсациях скорости. Часто интенсивностью турбулентности называют нормированную величину среднеквадратичного отклонения скорости, которая включает как периоды ускорения, так и торможения потока. Поскольку подъем частиц с поверхности дна, согласно закону Бернулли, связан с фазами ускорения потока [2], оценка интенсивности турбулентности выполнена именно по величине ускорений потока в пульсациях скорости.

Измерения скоростей течения и параметров рифелей выполнены на реке р.Ганг в районе строительства АЭС Руппур с мая по октябрь 2020 г. Скоростная вертикаль для измерения пульсаций скорости расположена в 270 м от левого берега.

Измерения пульсаций скорости течения на относительных глубинах 0,2h и 0,8h выполнены гидрометрической вертушкой Valeport-106 с периодом осреднения отсчета 3 с. В результате измерения скорости течения получены ряды актуальных скоростей течения. Для оценки ускорений потока в пульсациях использованы ряды однородные по дисперсии. Оценка однородности выполнена по критерию Фишера. Во временных рядах актуальных скоростей выделены монотонные ветви увеличения скорости. Для оценки значимости пульсации использовалась величина среднего квадратичного отклонения скорости (σ_u), вычисленного по методу последовательных разностей [3].

$$\sigma_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i - x_{i+1})^2}{2 \cdot (n-1)}} \quad (1)$$

Данная величина характеризует только уровень «белого шума», и не включает вариацию ряда, обусловленную общим трендом или низкочастотными колебаниями. При обработке ряда пульсации скорости менее B_u сглаживались. Для каждого ряда актуальных скоростей получены ускорения потока в пульсациях и определены параметры распределения и обеспеченные значения ускорений. Эмпирическое распределение ускорений аппроксимировано логонормальным распределением. Результаты обработки параметров турбулентности потока приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - р.Ганг(Падма) – АЭС «Руппур», 2020 г. Обеспеченные величины ускорения потока в пульсациях скорости на горизонте 0,2h

Дата измерения	Полная глубина на вертикали измерения, м	Средний период пульсаций, с	Средняя скорость в точке, м/с	Обеспеченные величины ускорения потока в пульсациях, $A \text{ м/с}^2$		
				1%	10%	50%
13 май	7.4	14	0.359	0.030	0.016	0.008
18 июн	9.6	12	0.534	0.076	0.049	0.025
3 июл	13.5	13	1.182	0.113	0.067	0.031
16 июл	15.2	13	1.756	0.114	0.069	0.035
27 июл	17.4	14	1.767	0.124	0.075	0.037
25 авг	18.3	13	2.306	0.168	0.109	0.057
7 сен	16.8	13	2.427	0.174	0.104	0.051
15 сен	15.9	12	2.037	0.312	0.189	0.088
13 окт	13.4	13	1.517	0.094	0.059	0.030
21 окт	11.8	14	0.675	0.040	0.025	0.013

Таблица 2 - р.Ганг(Падма) – АЭС «Руппур», 2020 г. Обеспеченные величины ускорения потока в пульсациях скорости на горизонте 0,8h

Дата измерения	Полная глубина на вертикали измерения, м	Средний период пульсаций, с	Средняя скорость в точке, м/с	Обеспеченные величины ускорения потока в пульсациях, $A \text{ м/с}^2$		
				1%	10%	50%
13 май	7.4	14	0.313	0.040	0.021	0.009
18 июн	9.6	12	0.445	0.124	0.079	0.040
3 июл	13.5	14	0.948	0.095	0.059	0.030
16 июл	15.2	14	1.447	0.117	0.075	0.039

25 авг	18.3	14	2.082	0.174	0.106	0.051
7 сен	16.8	13	2.126	0.145	0.090	0.045
15 сен	15.9	13	1.953	0.213	0.128	0.062
13 окт	13.4	14	1.282	0.111	0.069	0.035
21 окт	11.8	13	0.558	0.066	0.041	0.021

Для контроля состояния дна реки регулярно выполнялись промеры эхолотом по фиксированному продольному створу. Продольный створ наблюдений за донными грядами расположен на участке 90-1180 м ниже по течению от вертикали измерения пульсаций скорости, на расстоянии 330-380 м от левого берега. Координирование промерных вертикалей выполнялось с помощью системы спутникового позиционирования. Дискретность частоты промера в плане по продольному профилю составляет 1-1,5 м. В период наблюдений развитие гряд включало фазы: гладкое дно при отсутствии транспорта наносов, гряды средней высотой 1,95 м на подъеме половодья, полный смыв гряд на пике, восстановление гряд средней высотой 2,68 м на спаде половодья, разрушение гряд при переходе к меженным уровням.

На рисунке 1 приведен хронологический график изменения гидравлических параметров потока, параметров турбулентности и режима донных гряд. С увеличением скоростей течения увеличивается интенсивность пульсаций, что сопровождается ростом высоты и длины донных гряд. При достижении критических условий начинается смыв гряд. Процесс смыва гряд и их полное выглаживание не сопровождается резким изменением интенсивности пульсаций скорости или изменением коэффициента шероховатости. В сезонном ходе параметра интенсивности пульсаций скорости имеются два пика. Первый пик отмечен на горизонте 0,8h, выражен слабо, приурочен к началу движения донных наносов и начальному этапу формирования гряд. Второй пик резкий, выражен во всей толще потока, приурочен к фазе перехода от гладкого дна при смытых грядах к их восстановлению на спаде поло-

водья. В этот момент наблюдаются уменьшение уклона водной поверхности и наименьший коэффициент шероховатости русла. При дальнейшем увеличении высоты донных гряд интенсивность турбулентности потока снижалась.

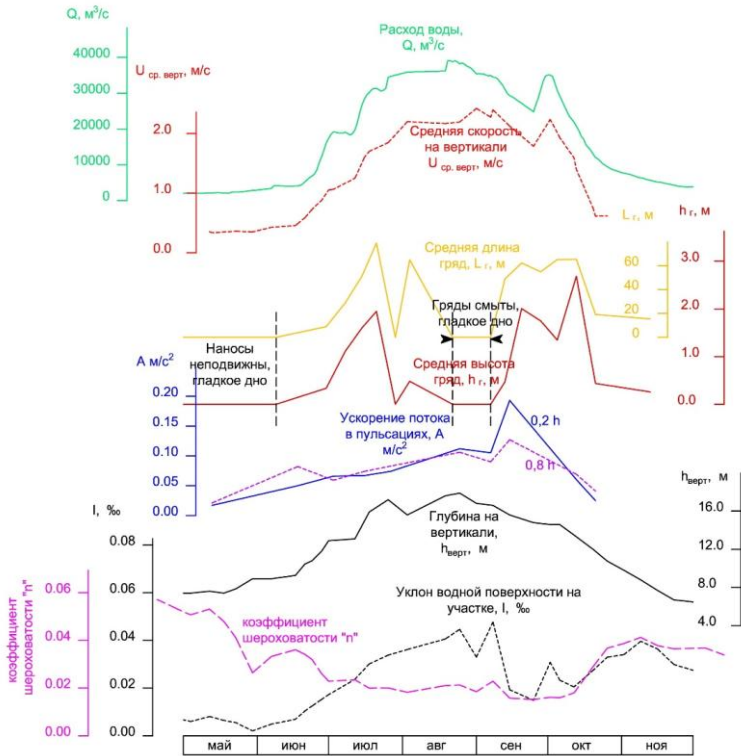


Рисунок 1 – График изменения параметров потока и донных гряд (значения ускорений потока в пульсациях обеспеченностью 10%)

Выполненные наблюдения показывают, что высота донных гряд, как шероховатость речного русла, не связана одно-

значно с гидравлическим сопротивлением потока. Не обнаружено прямой зависимости между степенью развитости гряд и интенсивностью турбулентности. Механизм влияния шероховатости на гидравлические сопротивления не обнаруживается явно через турбулентность потока в диапазоне исследованных частот пульсаций продольной скорости. Коэффициент шероховатости русла имеет обратную пропорциональную зависимость от интенсивности пульсаций продольной скорости (рисунок 2).

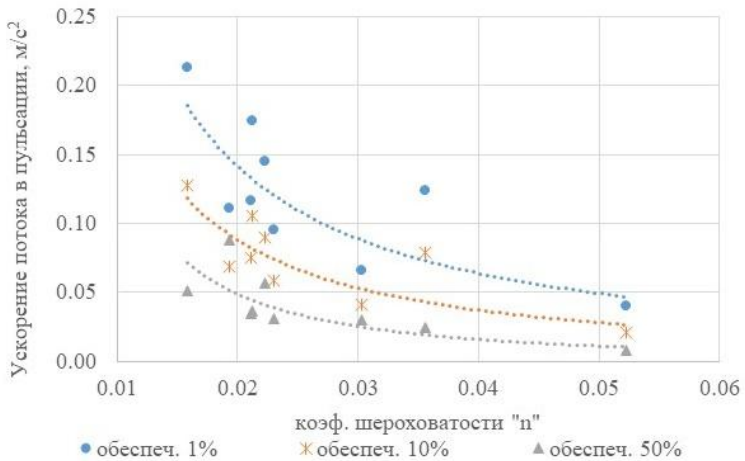


Рисунок 2 – График зависимости измеренных ускорений потока в пульсациях разной обеспеченности от коэффициента шероховатости в гидрометрическом створе на горизонте 0,8h

В то же время, измерения показали рост интенсивности пульсаций продольной скорости потока в период изменения формы (режима) перемещения влекомых наносов.

Литература

1. Н.Е. Кондратьев, И.В. Попов, Б.Ф. Снищенко «Основы гидроморфологической теории русловых процессов», Л.: Гидрометеиздат, 1978
2. А.Б. Клавен, З.Д. Копалиани Экспериментальные исследования и гидравлическое моделирование речных потоков и руслового процесса. СПб.: Нестор-История, 2011.
3. А.В. Рождественский, А.И. Чеботарев «Статистические методы в гидрологии», Л. Гидрометеиздат, 1974.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В ВЕРХОВЬЕ РЕКИ ТЕЧА.

А.И. Второва¹, Н.В. Мякишева², д-р г-ф. наук, Шараева Т. В.²

¹Отдел водных ресурсов по Челябинской области Нижне-Обского бассейнового водного управления, Челябинск, Россия

² Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

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

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

A.I. Vtorova¹, N.V. Myakisheva², Dr.Sc., Sharaeva T. V.²

¹Department of water resources in the Chelyabinsk region of the lower Ob basin water management, Chelyabinsk, Russia

²Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

A probabilistic analysis of the interannual variability of the regulated flow layer in the Tcha 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. Теча расположен почти в центре огромного материка Евразии на большом удалении от морей и океанов, что обуславливает значительную континентальность клима-

та, характеризующегося продолжительной холодной зимой, теплым летом и короткими переходными сезонами.

Река Теча вытекает из оз. Иртяш (Каслинский район Челябинской области), на 353 км от устья впадает в р Исеть с правого берега. Длина реки 243 км. Площадь водосбора -7600 км³.Общее падение реки 409 м. Водосбор вытянут в восточном направлении в виде изогнутой к югу полосы. Верхняя часть реки расположена в горной и предгорной зоне Южного Урала, остальная – в пределах Предтургайской равнины. На широких, плоских междуречных пространствах сосредоточены многочисленные озера размером от нескольких га до 55 км², а также болота. Большинство озер бессточные, многие из них, соединяясь друг с другом, образуют целые системы. Некоторые озера имеют сток в реки, постоянный или временный (в период половодья). Залесенность водосбора 32%,заболоченность 8%,озерность7%.

В связи развитием атомной промышленности на территории Челябинской области естественный режим реки Теча изменен. С начала деятельности в конце 1940-х годов ФГУП ПО «Маяк» гидрографическая сеть верховья р. Теча претерпела ряд существенных изменений, связанных с возведением в верховьях реки каскада промышленных водоемов и обводных каналов. Интенсивное промышленное и антропогенное освоение рассматриваемой территории связанное со строительством объектов ФГУП «ПО «Маяк» и интенсивным использованием водных объектов.

Система Иртяшско-Каслинских озер расположена в северной части Челябинской области в бассейне р. Теча. Котловины озер имеют тектоническое и эрозионно-тектоническое происхождение. Все исследуемые озера принадлежат бассейну р. Тобол и расположены в пределах гор и предгорий восточного склона на границе перехода горной области к области предгорий, а восточная на границе перехо-

да горной области предгорий к Восточно-Уральской холмистой равнине.

Иртышско-Каслинские озера являются единой гидротехнической системой, регулирование которой осуществляется двумя подпорными гидроузлами, разделяющими данную систему озер на 2 водохранилища.

Водохранилище №1 (далее водоем В-1) включает в себя Иртышскую систему озер: Иртыш, Большая Нанюга, Сазоново, Малые Касли.

Водохранилище №5 (далее водоем В-5) включает систему Больших Каслинских озер: Силач, Сунгуль, Киреты Карасье, Большие Касли, Малый Кисегач, Большой Кисегач, Большие Аллаки. Эти озера вытянуты в меридианом направлении вдоль восточного склона Вишнёвых гор Уральской гряды. [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. Теча (с. Муслумово, с. Першинское) за период с 1963 – 2019 гг и 1941 – 2019 гг соответственно [1-5].

Также для анализа режима озер-водохранилищ (Иртяш и Улагач) использованы данные водопользователя ФГУП ПО «Маяк». Озеро-водохранилище введено в эксплуатацию с 1955г., с объемом при нормальном подпорном уровне ($W_{\text{нпу}} - 553,31 \text{ млн.м}^3$), озеро-водохранилище Улагач введено в эксплуатацию с 1954 г., с объемом при нормальном подпорном уровне ($W_{\text{нпу}} - 60,4 \text{ млн.м}^3$).

Для оценки климата анализировались данные о суммах осадков и температуре воздуха по наблюдениям на метеостанциях Аргаяш и Бродокалмак с 1938 по 2018 г.

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

Многолетние колебания водности реки

Сочетание естественных и антропогенных факторов формирует специфический режим реки. Временной ход стока р.Теча – с.Муслюмово за период после строительства системы Иртяшско-Каслинских озер многолетнего регулирования 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 повышение стока и годовых сумм осадков. Тренд температуры воздуха на повышение имеет обратный тренду 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. Муслиумово после оз. Иртяш наблюдается значимый тренд на повышение стока. При детальном анализе выявлено, что тенденция повышения стока от года к году наблюдается в период с мая по сентябрь. Однако квазициклы в расходах воды в пункте после системы Иртяшско-Каслинских озер согласуются с квазициклами атмосферных осадков. 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).

Объем воды в оз. Иртяш незначительно имеет тренд на повышение, что согласуется с трендом повышения осадков.

Объем воды в озере-водохранилище Улагач имеет тренд на понижение. Причина понижения объема и уровня воды имеет антропогенный характер. Забор воды на промышленные нужды Аргаяшской ТЭЦ превышает приходную часть водного баланса Улагач с водосборной площади.

Для восстановления дефицита воды в оз.Улагач происходит внутрибассейновая переброска воды из оз. Иртяш через трубопровод с помощью насосной станции. Объем переброски составляет ежегодно около 3,5 млн. м³.

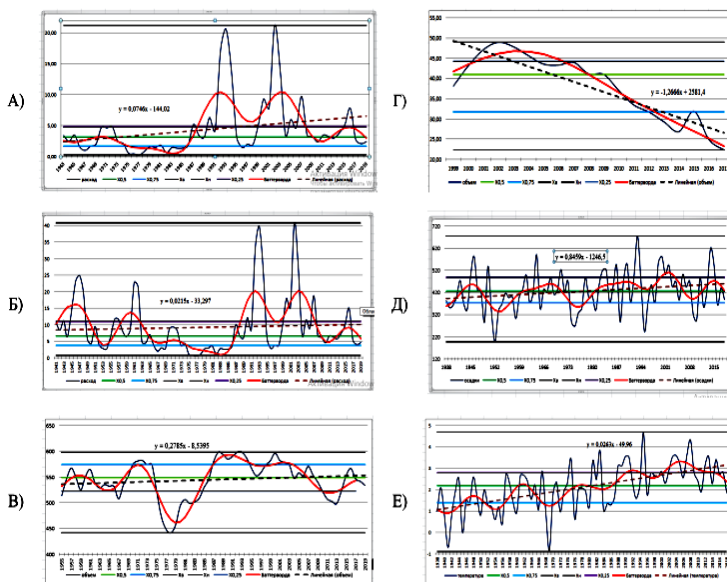


Рис. 1 Реализации гидрометеорологических характеристик: А) Среднегодовой расход воды р.Теча – с. Муслумово, Б) Среднегодовые расходы воды р. Теча – с. Першинское, В) Объем оз.Иртыаш, Г) Объем оз. Улагач, Д) Суммы осадков за год МС Бродакалмак, Е) Температура за год МС Бродакалмак.

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.

Совместный анализ графиков оценки математического ожидания и дисперсии дает возможность установить тип межгодовой изменчивости процессов. В случае когерентности (т.е. сходимости) этих графиков изменчивость происходит в виде амплитудной модуляции, т. е. ослабления или усиления интенсивности основных элементов внутригодового хода, в случае не когерентности – в виде наложения долгопериодного колебания или частотно-фазовой модуляции.

Повторение дисперсии почти в точности математического ожидания говорит о межгодовой изменчивости оз. Иртяш в виде модуляции характерных элементов внутригодового хода.

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

$$\beta_{it} = \varphi_{i,1}\beta_{i, t-1} + \varphi_{i,2}\beta_{i+1, t-1} + \varepsilon_{it} + \mathbf{m}_i, \quad i=1, \dots, 12, \quad t=1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где $\beta_t = \{\beta_{1,t}, \dots, \beta_{12,t}\}$; $\varphi\beta_{t-1} = \{\varphi_i\beta_{i,t-1}, \dots, \varphi_{12}\beta_{12,t-1}\}$;

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

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

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

позволило детализировать особенности зарегулированности стока для отдельных месяцев года.

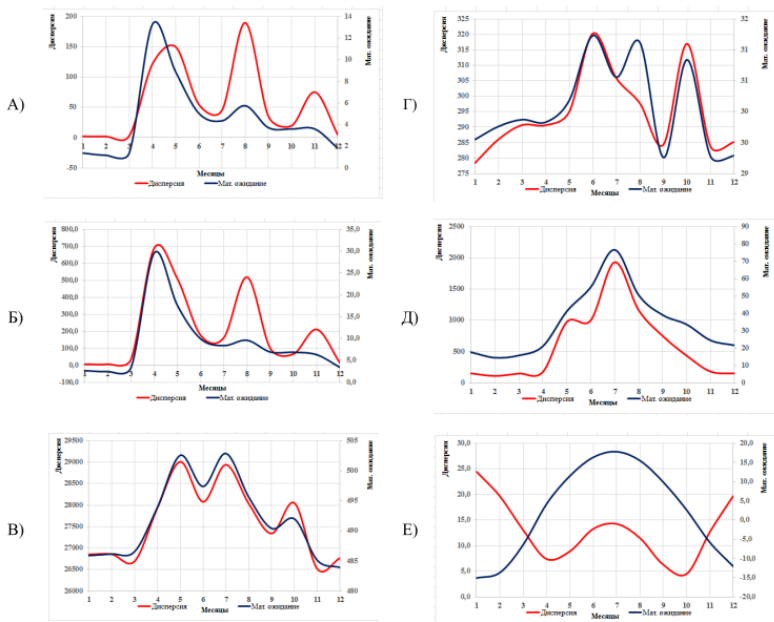


Рис. 2. Графики оценок математического ожидания и дисперсии внутригодового: стока р.Теча. А) п. Муслумово, Б) створ Першинское, объема В) оз. Иртяш, Г) оз.Улагач, Д) осадки, Е)температура МС Бродакалмак.

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).

Сравнение параметров φ_{i1} для атмосферных осадков и расходов воды позволяет оценить регулируемую роль водосбора, обусловленную в период летней и зимней межени действием подземных вод, а также высокой озерностью данной территории.

Сопоставление результатов анализа речного стока в пунктах, подверженных влиянию техногенных сооружений Иртышско-Каслинской системы озер, позволяет оценить по разности параметров φ_{i1} регулируемую роль антропогенных факторов.

Таблица 1. Численные значения оценок математического ожидания $m(t)$, дисперсии $D(t)$ и параметров авторегрессии φ_1 , φ_2 значений основных показателей стока и климата бассейна р.Теча.

Характеристика	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
оз. Улагач-Аргаяшская ТЭЦ												
$m(t)$, млн.м ³	30	30	30	30	30	31	31	31	29	31	29	29
$D(t)$, (млн.м ³ /с) ²	27 8	286	291	291	295	320	306	298	284	317	284	285
φ_1	1,0 0	1,00	1,0 0	0,9 8	0,9 5	0,9 6	0,9 8	0,9 7	0,9 7	0,9 7	1,00	0,9 2

φ2	0,9 1	0,91	0,9 1	0,9 2	0,8 9	0,8 6	0,8 9	0,9 0	0,9 0	0,9 1	0,92	0,9 2
оз. Иртяш- ФГУП ПО «Маяк»												
m(t), млн.м ³	48 6	486	487	494	503	497	503	496	490	492	485	484
D(t), (млн.м ³ /с) 2	26 85 5	268 58	266 94	279 33	290 11	280 80	289 43	280 35	273 41	280 50	265 16	267 72
φ1	1,0 0	1,00	1,0 0	1,0 0	0,9 8	0,9 9	0,9 8	0,9 9	0,9 9	0,9 8	0,99	0,8 7
φ2	0,8 7	0,87	0,8 7	0,8 7	0,8 7	0,8 7	0,8 7	0,8 5	0,8 7	0,8 7	0,86	0,8 6
р. Теча-с. Муслюмово												
m(t), м ³ /с	1,3 8	1,18	1,3 9	13, 29	8,8 9	5,0 6	4,3 6	5,7 6	3,7 3	3,6 1	3,61	1,8 1
D(t), (м ³ /с) ²	2,2 0	2,01	3,1 8	121 ,88	149 ,97	54, 94	45, 33	189 ,77	35, 34	19, 69	75,3 2	4,2 4
φ1	0,9 6	0,90	0,6 8	0,7 5	0,9 3	0,8 0	0,4 2	0,5 5	0,8 7	0,5 8	0,35	0,7 4
φ2	0,6 3	0,65	0,5 5	0,5 3	0,4 5	0,5 1	0,5 5	0,0 7	0,5 0	0,3 4	0,03	0,5 4
р. Теча-Першинское												
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
φ1	0,8	0,84	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,6	0,1	0,4	0,73	0,8

	54	1	23	86	56	56	19	59	99	25	0	63
φ_2	0,4 57	0,35 6	0,3 32	0,3 09	0,2 96	0,1 25	0,2 08	0,0 11	0,1 31	0,0 11	0,29 0	0,4 20
Осадки МС Аргаяш												
m(t), мм	8,4	8,5	8,5	8,5	8,6	8,9	8,7	8,9	8,4	8,8	8,4	8,4
D(t), (мм) ²	25 8	263	265	265	270	291	278	283	256	285	256	257
φ_1	0,1 8	0,04	0,2 3	0,0 7	0,1 5	0,1 6	0,2 2	0,0 9	0,1 0	0,2 3	0,04	0,1 9
φ_2	0,9 7	0,97	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 6	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,97	0,9 7
Осадки МС Бродокалмак												
m(t), мм	8,4	8,5	8,5	8,5	8,6	8,9	8,7	8,9	8,4	8,8	8,4	8,4
D(t), (мм) ²	25 8	263	265	265	270	291	278	283	256	285	256	257
φ_1	0,1 9	0,12	0,0 8	0,0 2	0,1 8	0,2 5	0,1 5	0,2 8	- 0,0 7	0,1 6	0,21	0,1 6
φ_2	0,9 7	0,97	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 6	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,97	0,9 7
Температура МС Аргаяш												
m(t), T ⁰ C	8,4	8,5	8,5	8,5	8,6	8,9	8,7	8,9	8,4	8,8	8,4	8,4
D(t), (T ⁰ C) ²	25 8	263	265	265	270	291	278	283	256	285	256	257
φ_1	0,1 8	0,04	0,2 3	0,0 7	0,1 5	0,1 6	0,2 2	0,0 9	0,1 0	0,2 3	0,04	0,1 9

φ_2	0,9 7	0,97	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 6	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,97	0,9 7
Температура МС Бродакалмак												
$m(t), T^{\circ}C$	8,4	8,5	8,5	8,5	8,6	8,9	8,7	8,9	8,4	8,8	8,4	8,4
$D(t), (T^{\circ}C)^2$	25 8	263	265	265	270	291	278	283	256	285	256	257
φ_1	0,1 9	0,12	0,0 8	0,0 2	0,1 8	0,2 5	0,1 5	0,2 8	- 7	0,1 6	0,21	0,1 6
φ_2	0,9 7	0,97	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 6	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,9 7	0,97	0,9 7

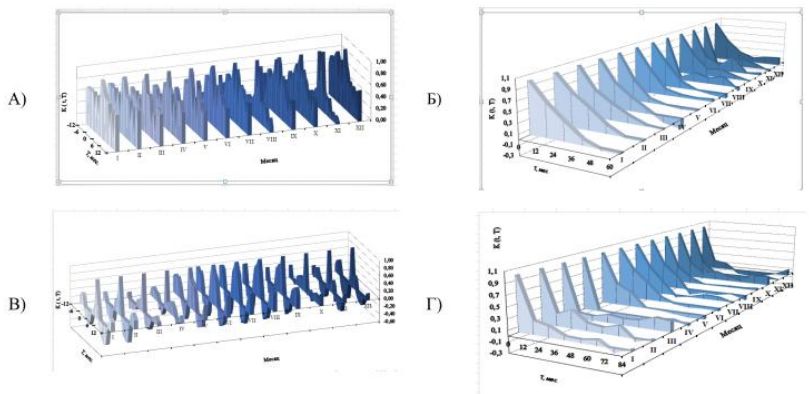


Рис. 3. Графики оценок корреляционных зависимостей А) внутригодовой и Б) межгодовой изменчивости стока р. Теча – с. Муслюмово, В) внутригодовой и Г) межгодовой изменчивости осадков – МС Бродакалмак

Выводы

1. Сочетание естественных и антропогенных факторов при формировании водного режима рассматриваемой реки проявляется по-разному. Так, тренды в изменении речного стока на гидропостях с.Муслюмово и Першинское в общем соответствуют изменениям климата бассейна. На гидропостях наблюдается согласованность циклов водности и осадков, но при этом прослеживается тренд на повышение стока, отсутствующий в осадках, что, по-видимому, свидетельствует об антропогенном воздействии техногенных сооружений Иртяшко-Каслинской системы озер.

2. В районах с интенсивным использованием речных вод необходимо проводить исследование руслового баланса, чтобы иметь достаточно надежные данные о стоке воды в различные отрезки времени и на разных участках реки.

3. Главной задачей исследований являлось изучение соотношения естественного (природного) и нарушенного годового стока, оценка количества воды, которую можно изъять для объектов экономики и какое количество воды необходимо оставить для сохранения экологического равновесия водного объекта.

Литература

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

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

МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ ВОДОЕМОВ СУШИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ РОССИИ

В.С.Вуглинский, д-р г-ф. наук, проф., А.В.Измайлова, д-р г-ф. наук

Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

Спутниковая альтиметрия стала активно применяться для определения уровней воды озер и водохранилищ. Однако результаты спутниковых измерений содержат значительные погрешности, основным способом устранения которых является их корректировка по данным наземных наблюдений. В докладе рассматриваются методология адаптации спутниковых данных применительно к определению уровня воды водоемов суши, разработанная совместно с французской лабораторией Legos, и результаты ее применения на примере шести озер и водохранилищ России.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE WATER LEVELS OF TERRESTRIAL WATER BODIES BASED ON SATELLITE OBSERVATIONS AND ITS APPLICATION ON THE EXAMPLE OF LAKES AND RESERVOIRS IN RUSSIA

V.S.Vuglinsky, Dr.Sc., Prof., A.V.Izmailova, Dr.Sc.

State Hydrological institute, St.Petersburg, Russia

Satellite altimetry has become actively used to determine the water levels of lakes and reservoirs. However, the results of satellite measurements contain significant errors, the main way to eliminate which is to correct them according to in-situ observations. The report examines the methodology for adapting satellite data in relation to determining the water level of land water bodies, developed jointly with the French Legos laboratory, and the results of its application on the example of six lakes and reservoirs in Russia

Введение

Определение уровня воды озер с помощью спутниковой альтиметрии, когда телеметрические импульсы отражаются от неоднородной поверхности (вода и суша), связано с неточностями, обусловленными двумя эффектами:

1. Радиолокационное эхо включает отраженные сигналы как от водной, так и от не водных поверхностей, имеющих различные высоты (растительность, голая почва, берега озер и др.).

2. Поверхность, отражающая энергетический пик, доминирующий в радиолокационном эхе, не находится строго в надире антенны (т.е. в вертикальном направлении), что приводит к занижению высоты высотомера из-за завышения дальности сигнала.

Для минимизации вышеуказанных эффектов необходимо, с одной стороны, проводить тщательный отбор достоверных данных альтиметрии, а с другой стороны, для валидации (проверки) и калибрации спутниковых данных использовать данные наземных наблюдений, которые, как правило, обладают более высокой точностью. Обычно считается, что погрешности измерения уровня воды озер наземными средствами наблюдений колеблются от 0,5 до 1 см. [1].

До настоящего времени не создана универсальная методика, позволяющая по данным спутниковых наблюдений надежно определять уровни воды озер. В последние годы активно разрабатываются специальные алгоритмы для обработки альтиметрической информации (ретрекинга), полученной при измерении уровней воды озер [2, 3, 4]. Наибольшее применение в настоящее время имеют три соответствующих программных продукта (LEGOS, NASA/USDA, и ESA-DMU), обладающих некоторыми различиями [5]. В настоящей работе использованы спутниковые данные, обработанные с помощью программного продукта, разработанного в французской лаборатории Legos [6]. Технология позволяет вводить

стандартные поправки в данные высотомера на влияние атмосферы и ионосферы, а также на приливы в земной коре и на наклон геоида.

В статье рассматриваются методические аспекты анализа данных спутниковых наблюдений, их последующих корректировки и обобщения по данным наземных наблюдений, на примере шести крупных озер и водохранилищ России (озера Байкал, Ильмень, Ладожское, Онежское, водохранилища Новосибирское и Саратовское).

Исходные материалы

В качестве исходных материалов использованы данные об уровнях воды указанных озер, полученные со спутников Jason-1/2/3, SARAL, SENTINEL-3A и SENTINEL-3B, в которые внесены стандартные поправки с помощью разработанной в лаборатории Legos технологии, а также данные регулярных наземных наблюдений на сети гидрологических станций Росгидромета за единый расчетный период с января 2002 по декабрь 2019 года. В связи с тем, что для некоторых водоемов количество спутниковых треков с 2015 г. существенно увеличилось, анализ данных поведился отдельно для периода 2002 – август 2014 г. и периода с сентября 2014 по декабрь 2019 г.

В работе использованы данные срочных наблюдений на 39 гидрологических станциях, расположенных на вышеуказанных озерах и водохранилищах. Многолетние ряды срочных наблюдений за уровнем воды были подвергнуты логическому и статистическому анализу, в результате которых были исключены сомнительные значения (выбросы) и восстановлены значения уровней воды для случаев пропусков в наблюдениях. На основании этих данных определялись осредненные по каждому водоему значения среднесуточных и среднемесячных уровней воды, которые использовались на последующих этапах исследования.

Методика анализа и корректировки спутниковых данных по результатам наземных наблюдений

Методика анализа спутниковых данных основана на отбраковке сомнительных значений и получении «отфильтрованного» многолетнего ряда по каждому водоему. В связи с тем, что в период с 2002 по август 2014 г. число спутниковых наблюдений на рассматриваемых водоемах не превышало 2-4 в месяц, корректировке были подвергнуты только результаты спутниковых наблюдений за период с сентября 2014 по декабрь 2019 г., когда количество измерений за месяц составляло 20 и более. Вначале исходный ряд сглаживался и рассчитывались расхождения между сглаженным рядом и данными спутника. Для полученного ряда «расхождений» определялось стандартное отклонение и значения квартилей (25%, 50% и 75%). Все значения ряда, лежащие за пределами полуторного интерквартильного размаха от первого и третьего квартилей, относились к сомнительным и отбраковывались. В результате были получены «отфильтрованные» ряды и выполнено их приведение к суточным значениям за счет сглаживания по пятидневным интервалам и дополнительной интерполяции в случае длинных пропусков. Дальнейший анализ и корректировка спутниковых данных осуществлялись по полным рядам, включающим и период 2002-2014 гг., когда число спутниковых наблюдений было ограниченным. По полученным полным рядам рассчитывались среднемесячные значения уровней. На рис.1 в качестве примера представлены исходный и «отфильтрованный» ряды данных спутниковых наблюдений по Ладожскому озеру за период активных наблюдений (2014-2019 гг.).

На следующем этапе, с целью проверки репрезентативности полученных многолетних спутниковых рядов, проводилось их сопоставление с рядами наземных наблюдений. Для этого использовались два приема [6]:

- абсолютная проверка (absolute validation), которая заключается в оценке и анализе различий в величинах стандартных отклонений многолетних рядов уровней воды, полученных по спутниковым данным и по результатам наземных

наблюдений, с медианной (50%) погрешностью определения уровня в рядах, полученных по спутниковым данным.

- относительная проверка (relative validation), которая заключается в оценке корреляционных связей между многолетними рядами уровней воды, полученных по данным высоотомера и по результатам наземных наблюдений. Коэффициенты парной линейной корреляции рассчитываются за период совместных наблюдений с доверительным интервалом 95%. При значениях коэффициентов корреляции более 0,85 многолетний ряд уровней воды, полученный по спутниковым данным, считается достоверным по данному критерию.

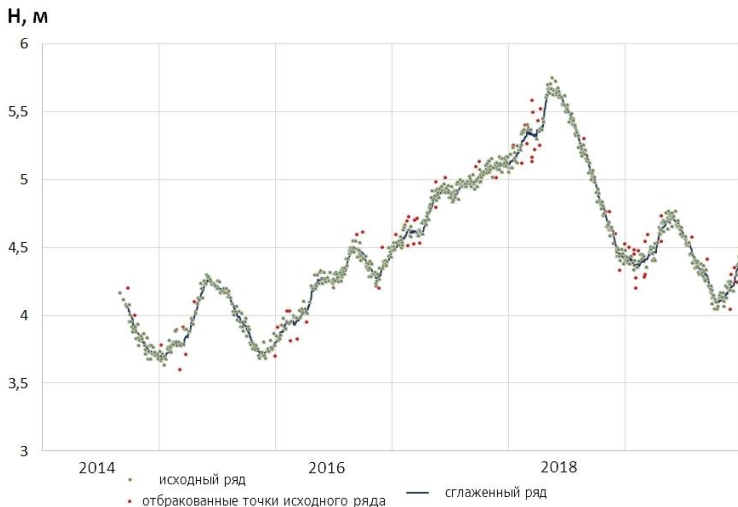


Рис. 1. Исходный и «отфильтрованный» ряды данных спутниковых наблюдений по Ладожскому озеру.

Проверка «отфильтрованных» спутниковых рядов, полученных для шести рассматриваемых водоемов, показала, что они в основном соответствуют вышеуказанным критериям, являются репрезентативными и могут использоваться для практического применения. На рисунке 2 представлены гра-

фики связи между значениями уровня воды оз. Байкал, полученными по данным спутниковых и наземных наблюдений.

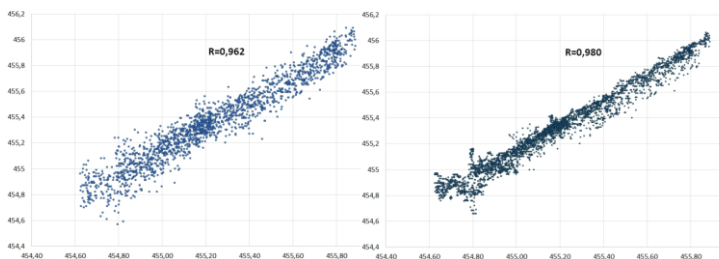


Рис.2 Графики связи между значениями уровня воды оз. Байкал, полученными по данным спутниковых и наземных наблюдений (на левом графике – данные спутника до выборки, на правом – отфильтрованный и сглаженный ряд).

В то же время необходимо отметить, что по ряду водоемов спутниковые данные имеют систематические положительные отклонения (на 10-30 см.) от результатов наземных наблюдений. Лишь по Ладожскому озеру данные спутниковых и наземных наблюдений практически совпадают ($R > 0,99$). На рис. 3 представлены хронологические графики изменений уровней воды Онежского озера, полученные по спутниковым и наземным данным. Очевидно, что для этого водоема спутниковые данные завышены по сравнению с результатами наземных наблюдений, хотя синхронность колебаний обоих многолетних рядов высокая ($R = 0,94$).

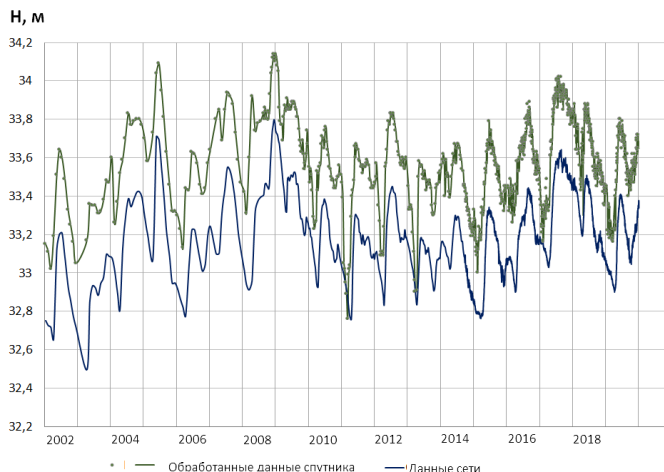


Рис.3 Хронологические графики изменений уровней воды Онежского озера.

Заключение

Дальнейшие исследования по адаптации данных спутниковых наблюдений за уровнями воды озер должны быть направлены как на совершенствование технических средств спутниковых измерений, рекрекинга, методологии корректировки спутниковых данных, так и на повышение надежности данных наземных наблюдений, которые, играя роль «эталонных», обладают определенными погрешностями, связанными как с ошибками самих измерений, так и погрешностями, возникающими при обобщении данных наблюдений как во времени, так и по акватории водного объекта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект РФФИ № 21-55-15007\21

Литература

1. Технический регламент. Том 3. Гидрология. ВМО, 2006 – 130 с.

2. Altimetry for the future: Building on 25 years of progress, International Altimetry Team (361 authors) «Advances in Space Research», № 68(2) – 2021 – pp.319-363.
3. Cretaux J.-F., Calmant S., Abarca del Rio R. et al. Lakes studies from satellite altimetry // Coastal Altimetry / Eds. S. Vignudelli, A. Kostianoy, P. Cipollini, J. Benveniste. Berlin; Heidelberg ; N. Y. : Springer Verlag. – 2011 – pp. 509–534.
4. Yu, Y., Kouraev A., Shim C., Vuglinsky V., Cretaux J., Calmant S. The Performance of Altimeter Waveform Retrackerers at Lake Baikal // Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, Vol 24, Iss 4-I – 2013 – pp. 513-519.
5. Cretaux J., Berge-Nguyen M., Montazem A.S., Maisongrande P., Calmant S., Jamangulova N., Satylkanov R., Lyard F., Perosanz F., Verron J., Guilcher G.L., Leroux D., Barrie J., Bonnefond P. // Absolute Calibration or Validation of the Altimeters on the Sentinel-3A and the Jason-3 Lake Issykkul (Kyrgyzstan) // Remote sensing, 10 (11) – 2018 – P.1679.
6. Ricko M., Birkett Ch. V., Carton J.A., Cretaux J. Intercomparison and validation of continental water level products derived from satellite radar altimetry // Journal of Applied Remote Sensing, 6(1) – 2012 – P. 1710.

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ И ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОДЫ РЕК И ВОДОЕМОВ

С.А. Гавриков, канд. техн. наук

АО «Дальневосточный научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации», Владивосток, Россия

ENGINEERING AND HYDROLOGICAL SUPPORT OF OBSERVATIONS OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND POLLUTION OF WATER IN RIVERS AND RES- ERVOIRS

S.A. Gavrikov. Cand. Sc. (Technology)

JSC «Far Eastern Research Institute of Hydraulic Engineering
and Land Reclamation», Vladivostok, Russia

Разработана методика гидрометрических работ и инженерно-гидрологических расчетов при проведении комплекса гидрохимических наблюдений за изменениями химического состава и загрязненности воды по малым и средним рекам по их течению и во времени. Методика апробирована в практике и предназначена для организаций и специалистов, работающих в области наблюдений за качеством поверхностных вод суши и вод прибрежных морских акваторий.

The methodology of hydrometric works and engineering-hydrological calculations has been developed for conducting a complex of hydrochemical observations of changes in the chemical composition and water pollution along small and medium rivers along their course and over time. The methodology has been tested in practice and is intended for organizations and specialists working in the field of monitoring the quality of surface waters of land and waters of coastal marine areas.

Введение

Наблюдения за химическим составом и загрязнением воды проводятся в целях удовлетворения практических народнохозяйственных требований (оценка пригодности воды для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения, орошения земель), для научных обобщений и для разработки и осуществления мероприятий по предотвращению загрязнения рек, водоемов и донных грунтов в результате сбросов использованных вод [1, 2].

Первичными естественными приемниками промышленных, агропромышленных и бытовых сбросных вод обычно являются малые и средние реки. Малые реки (речки, ручьи, лога) формируют водный режим средних рек и, в конечном счете, больших (транзитных) рек, впадают непосредственно в естественные и искусственные замкнутые и проточные водоемы, в крупные озера, в моря. Особенностью загрязнения промышленными, агропромышленными и другими сточными водами малых, а в некоторых случаях и средних рек является высокая концентрация загрязняющих веществ в их водах. Поэтому эти категории водоприемников в первую очередь нуждаются в экологической защите. В свою очередь, данные

балансовых гидрологических и гидрохимических расчетов по первичным водоприемникам позволяют отслеживать объемы выноса загрязняющих веществ, поля загрязнения, процессы самоочищения водных объектов и прогнозировать качество воды в бассейнах более крупных рек, а также в водоемах, в которые впадают первичные естественные водоприемники (или частью гидрографической сети бассейнов которых они являются).

Материалы и методы

В 1994–1995 гг. в Дальневосточном НИИ гидротехники и мелиорации в ходе практического изучения распределения по территории качества поверхностных вод в бассейне реки Кневичанка (район расположения аэропорта Владивосток) автором была разработана методика гидрометрических работ и гидрологических расчетов при проведении комплекса гидрохимических наблюдений за изменениями химического состава и загрязненности воды по малым и средним рекам по их течению и во времени. Методика предназначена для организаций, осуществляющих наблюдения за качеством поверхностных вод суши и вод прибрежных морских акваторий. Область использования методики:

составление гидрохимического (водно-солевого) баланса реки на дату обследования;

определение объемов выноса загрязняющих веществ в водоприемники второго порядка – более крупная река, озеро, водохранилище, обособленная прибрежная морская акватория (бухта, залив);

прогноз концентраций поступающих со сбросными водами загрязняющих веществ в водах водоприемника на различные, в первую очередь, критические фазы его гидрологического режима (минимумы стока летней и зимней межени).

Средние и особенно малые реки гидрологически, как правило, не изучены, и расчетные характеристики стока для них приходится определять при отсутствии данных гидрометрических наблюдений в заданном створе, косвенными методами. Дополнительной сложностью гидрологических расчетов по малым рекам является то, что сток малой реки в отдельных случаях может быть подвержен сильному влиянию каких-либо местных аazonальных природных или антропогенных факторов.

Сущность задач гидрологического обеспечения наблюдений за химическим составом и загрязнением воды на реках и водоемах и внесенных автором предложений состоит в следующем. Чтобы отслеживать поля загрязнения поверхностных вод в речном бассейне содержащимися в сбросных водах вредными примесями, а также происходящие процессы самоочищения водотоков и водоемов необходимо иметь водно-солевые балансы реки. Водно-солевой баланс – это увязанные между собою наблюдаемые или расчетные концентрации и объемы выноса различных растворенных естественных химических соединений и загрязняющих веществ, определенные для створов, замыкающих отдельные участки речного бассейна на данный момент времени (практически на данную дату). Водно-солевой баланс составляется на основе данных наблюдений за химическим составом воды и водного баланса реки. Водный баланс реки – в данном случае, это увязанные

между собою расходы воды в расчетных створах данной реки и ее притоков различных порядков на данный момент времени, либо таким же образом увязанные расчетные объемы стока воды за какой-либо интервал времени внутри года, за год или многолетие для тех же створов.

С целью сокращения затрат времени на полевые работы и достижения эффекта гидрометрической и гидрохимической съемки расходы воды измеряются только по отдельным, репрезентативным створам, по возможности приуроченным к створам отбора проб воды на химический анализ. Для остальных створов расходы воды рассчитываются с использованием эмпирических формул – через модули стока с учетом выявленных эмпирических его зависимостей от ведущих физико-географических факторов – или балансовым способом, в зависимости от конкретной гидрологической ситуации. Расчетные расходы и объемы стока воды водоприемника для характерных фаз гидрологического режима определяются существующими или вновь разрабатываемыми практически приемами расчета характеристик стока. Как правило, требуется определять расчетные характеристик годового стока, его внутригодового распределения, минимального летнего и минимального зимнего стока.

Результаты и обсуждение

В работе [3] обосновываются практические приемы определения всех упомянутых расчетных характеристик стока, разработанные автором для случаев отсутствия и недостаточности данных гидрометрических наблюдений в заданном створе применительно ко всем видам водохозяйственного использования стока, а также отслеживания загрязнений гид-

рографической среды на юге Дальнего Востока России: Средний и Нижний Амур, Приморье. Принципы построения этих приемов, в своей основе базирующихся на методах, регламентируемых СП 33-101-2003 [4], могут быть положены в основу практических приемов расчета речного стока и для других районов страны и более обширной территории, особенно, для районов со схожими в определенной мере физико-географическими условиями.

Основные преимущества этих приемов перед существующими аналогами:

в них используются разработанные способы выявления и учета возможного влияния на сток малой реки местных природных или антропогенных факторов;

предусмотрены методические приемы по устранению неопределенностей, возникающих при установлении расчетного календарного внутригодового распределения стока для рек с паводочным режимом по статистически наиболее строгому и совершенному в настоящее время методу компоновки.

все основные расчетные формулы связывают расчетные значения стока и параметры кривых распределения ежегодных вероятностей превышения его характеристик с физико-географическими характеристиками бассейна реки в заданном створе уравнениями регрессии и представлены в виде удобных для пользования расчетных графиков – эмпирических линий множественной регрессии. Графики сокращают затраты времени на выполнение гидрологических расчетов до возможного в настоящее время минимума и позволяют

контролировать результаты расчетов по формулам (уравнениям регрессии).

Литература

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (с изменениями и дополнениями на 03.08.2018). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=395634> (дата обращения 28.10.2021).

2. РД 52.24.309-2016. *Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Дата актуализации: 01.01.2021. Дата введения: 03.04.2017. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293748/4293748080.htm> (дата обращения 25.12.2020).*

3. 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.

4. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / Госстрой России. – М., 2004. 72 с.

ФРАКТАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА В МЕТОДАХ КРАТКО-СРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Е. В. Гайдукова, В. С. Девятков

Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия

Рассмотрен вопрос методологического подхода к оценке размерности прогностической модели формирования суточных расходов воды на реках с различным режимом питания. Выявлено, что одинаковые по типу питания реки имеют схожие значения фрактальной размерности ряда.

FRactal Diagnostics in the Methods of Short-Term Forecasting

E. V. Gaidukova, V. S. Deviatov

Russian State Hydrometeorological University (RSHU), St. Petersburg, Russia

The question of a methodological approach to assessing the dimension of the prognostic model of the formation of daily water discharges on rivers with different feeding regimes is considered. It was revealed that rivers of the same type of feeding have similar values of the fractal dimension of the series.

Введение

Исследование находится в русле направления «Частично инфинитная гидрология» [1]. Одним из элементов частично инфинитной методологии является фрактальное диагности-

рование развивающейся системы, т. е. определение числа переменных в уравнении, моделирующем процесс в рассматриваемой системе.

Если перечислять основные этапы частично инфинитного моделирования, то получится следующая логическая цепочка: 1) существует модель, которая позволяет надежно описывать процесс формирования стока, в том числе — получать прогнозные характеристики стока; 2) под влиянием каких-то факторов (например, антропогенных) математическая модель может перестать давать надежные решения, т. е. происходит потеря устойчивых решений модели; 3) для того модель снова стала давать устойчивые решения, необходимо изменить число переменных, учитывающихся в ней; число переменных определяет фрактальная диагностика временных рядов одной из компонент системы; 4) определяются, какие переменные должны войти в модель, чтобы получать устойчивые решения; 5) под новые переменные модернизируется существующая модель или создается новая модель [2].

Определение фрактальной размерности временных рядов необходимо для нахождения оптимального числа фазовых переменных в математической модели.

В основе метода краткосрочного прогнозирования речного стока лежит выбор модели по числу переменных с помощью фрактальной диагностики. При сложном характере формирования стока модель может оказаться не способной уловить особенности гидрологического режима в изменившихся условиях (например, в период паводка). Именно знание фрактальной размерности (размерности пространства вложения) процесса стока позволяет выбрать (и изменить в

случае необходимости) порядок дифференциального уравнения для эффективного прогнозирования.

По периоду параметризации проводится фрактальная диагностика, показывающая число фазовых переменных, т. е. размерность прогностической модели: первого или второго порядка. Считается, что порядок модели сохранится и на период заблаговременности прогноза.

Данный метод апробирован на некоторых мировых водосборах с получением удовлетворительных результатов, см., например, [3, 4].

Целью исследования является фрактальная диагностика рядов суточных расходов воды. Наибольший интерес вызывает период половодья и паводков, особенно в период продолжительного подъема и спада, так как процесс является неустановившимся, изменяются статистические характеристики ряда при добавлении члена ряда.

Методы определения фрактальной размерности

Рассматривались наиболее распространенные методы расчета фрактальных размерностей, основанные на оценке амплитудной вариации, R/S -анализе и на корреляционном интеграле. Данные методы рассматривают именно временные ряды и отличаются алгоритмическими подходами к их оценке.

– Метод, основанный на оценке амплитудной вариации, прост в реализации, но занижает значения фрактальных размерностей, и скорее годится для оценки геометрических фракталов.

– Метод, основанный на R/S -анализе, так же, как и первый метод, не трудоемок, но исключает возможность получения в качестве результата фрактальную размерность меньше единицы и больше двух. Однако, данный метод полезен получаемым при расчете показателем Херста, оценивающим хаотичность ряда.

В данном исследовании использовался метод, основанный на вычислении корреляционного интеграла.

– Метод, основанный на корреляционном интеграле, сложнее остальных, более трудоемок и требует продуманного подбора расчетных параметров (ранее были найдены зависимости расчетных параметров со статистическими характеристиками ряда [5]). Данный метод показывает, сколько переменных участвует в процессе, тем самым предоставляет необходимую информацию для дальнейших прогнозов. Он является наиболее подходящим методом фрактального диагностирования при составлении математических моделей.

Формирование базы данных

Были выбраны отличные друг от друга режимы формирования стока рек: снеговое, дождевое и смешанное питания рек.

Для каждого режима были отобраны станции в различных частях России. Для снегового питания на реках Ловать, Великая выделено по 3 станции: деревня Сельцо, город Великие Луки, город Холм, город Опочка, деревня Пятоново, деревня Гуйтово соответственно. Для дождевого питания были взяты 2 реки из системы бассейна Амура: река Амгунь

(село Гуга, поселок Каменка, село Тавлинка), река Бира (город Биробиджан, станция Биракан, село Алексеевка). Для смешанного питания реки выбраны реки Самур, Чулым, Енисей.

Данные о расходах рек были взяты из базы данных АИС ГМВО и из гидрологических ежегодников. По станциям была собрана следующая информация: площадь водосбора (F , км²), координаты поста (широта и долгота) и суточные расходы воды за определенные года.

Результаты

Представлены некоторые результаты исследования на рисунках 1–3.

Для рек Амгунь и Бира со схожим типом питания – дождевым, значения фрактальной размерности колеблются от 0,32 до 1,2, со средним значением 0,7.

Для р. Амгунь в 2011 году значение размерности пространства вложения (РПВ) равное двум было получено в период половодья. Это можно объяснить тем, что на формирование стока имеют влияние не только талые воды, но и осадки, вызывающие характерные для данного режима паводки, которые накладываются на волну половодья. В период летне-осенних паводков значение размерности пространства вложения тоже равняется двум; на формирование стока в этот период оказывали влияние не только осадки, но и грунтовые воды, подпитываемые этими же осадками.

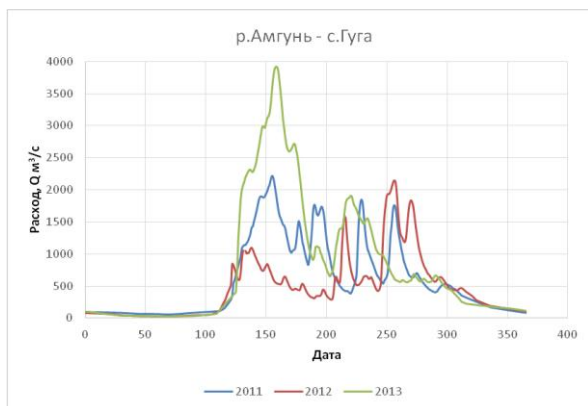


Рис. 1. Гидрограф р. Амгунь – с.Гуга (А) и р. Большой Енисей – с.Тоора-Хем (Б).





Рис. 2. Гистограммы распределения значений РПВ для ряда расходов р. Амгунь – с.Гуга за 2011 (А), 2012 (Б) и 2013 (В) год и для р. Большой Енисей – с.Тоора-Хем за 2010 (Г), 2013 (Д) и 2016 (Е) год.

За 2012 год в ряде расходов р. Амгунь размерность пространства вложения равная двум наблюдается дважды – в период сильных паводков.

В ряде расходов за 2013 год размерность пространства вложения наблюдается один раз: после череды паводков, можно предположить, что влагозапасы в этот период увеличились и могли занимать большую долю в формировании стока.

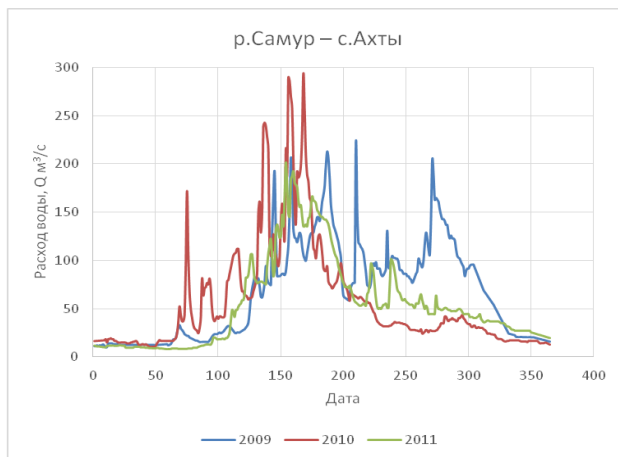
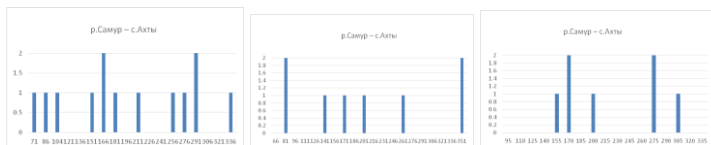


Рис. 3. Гидрограф р.Самур – с.Ахты (А) и гистограммы распределения значений РПВ для ряда расходов за 2009 (Б), 2010 (В), и 2011 (Г) год.



Для рек Енисей, Самур и Чулым со схожим типом питания – смешанным, значения фрактальной размерности колеблются от 0,23 до 2, и среднее значение составляет 0,8.

Для поста с. Тоора-Хем на реке Большой Енисей можно отметить, что значение размерности пространства вложения равно 2 встречается чаще в периоды половодья, но также возможны и в периоды паводков.

Для реки Самур вычисление значения размерности пространства вложения явилось проблематичным, не все периоды ряда могли быть оценены с помощью метода, основанного на корреляционном интеграле. На рис. 3 видно, что гидрограф имеет множество пиков. И при диагностике периода предшествующего дате выпуска прогноза, в этот период может попасть только подъем или только спад, т.е. нестационарный статистически период.

В целом, можно отметить, что для рек смешанного типа (Большой Енисей, Самур, Чулым) характерен большой разброс значений размерности, а также они несколько больше, чем для рек с дождевым режимом.

Выводы

В работе был проведен анализ рядов расходов с помощью фрактальной диагностики, была апробирована методология определения размерности математической модели, описывающей

вающей формирование речного стока с небольшой заблаговременностью.

При моделировании процесса формирования стока, в основном, учитывается одна фазовая переменная – речной сток в виде расходов воды, модулей или слоев стока: – для рек с дождевым питанием среднее значение фрактальной размерности рядов расходов рек составляет 0,71; – для рек со смешанным питанием среднее значение составляет 0,81; – для рек со снеговым питанием среднее значение составляет 0,83.

Однако при описании реакции некоторых речных бассейнов на внешнее воздействие необходимо учитывать две фазовые переменные, помимо поверхностного стока еще подземный сток. Игнорирование дополнительных фазовых переменных может привести к получению ненадежных прогнозных значений характеристик речного стока.

При сравнительном анализе расчетных значений, полученных в ходе исследования, выявлено, что одинаковые по типу питания реки, имеют похожие значения при фрактальной диагностике ряда.

Результаты, полученные в ходе исследования, могут применяться в практических целях для краткосрочного прогнозирования.

Исследование частично реализовано при поддержке Министерства науки и высшего образования, грант № FSZU-2020-0009, и при поддержке КН РА и РФФИ РФ, № 20RF-039 и № 20-55-05006\20 соответственно.

Литература

1. Коваленко В.В. Частично инфинитная гидрология. – СПб: изд-во РГГМУ, 2007. – 230 с.
2. Гайдукова Е.В. Фрактальная диагностика в моделировании гидрологических процессов. – СПб: Астерион, 2017. – 98 с.
3. Эспития С.Э.Ф., Гайдукова Е.В., Коваленко В.В. Краткосрочный прогноз расходов воды на реках Колумбии с использованием фрактальной диагностики // Ученые записки РГГМУ, № 47, 2017. – С. 16–24.
4. Девятов В.С. Пространственная детализация фрактальной размерности речного стока на территории Северо-Западного региона России // Ученые записки РГГМУ, № 26, 2012. – С. 34–43.
5. Гайдукова Е.В. Задание параметров метода фрактальной диагностики гидрологических рядов, основанного на корреляционном интеграле // Международный научно-исследовательский журнал, № 12-1 (54), 2016. – С. 80–84.

ТИПИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК ЕТР НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

А.В. Горбаренко¹, Т.Е. Самсонов¹, М.Б. Киреева¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Был проведен подробный пространственный анализ гидрологических постов рек европейской территории России. Сформирована выборка репрезентативных постов. Получены многолетние ряды данных о среднемесячных расходах рек за период с 1950 по 2017 год. С помощью языка программирования Python были рассчитаны гидрологические характеристики необходимые для построения модели автоматической классификации типов водного режима. Подготовлены геоинформационные данные для исследуемой территории. Разработан алгоритм автоматической классификации рек по типам водного режима с помощью языка программирования R. Сформированы выводы относительно работоспособности полученного алгоритма. Составлена новая типизация современного водного режима рек европейской территории России.

TYPES OF MODERN WATER REGIME OF RIVERS IN EUROPEAN RUSSIA BASED ON SPATIAL DATA

A.V. Gorbarenko¹, T.E. Samsonov¹, M.B. Kireeva¹

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education M.V.Lomonosov Moscow

A detailed spatial analysis of the hydrological stations of the rivers of the European territory of Russia was carried out. A sample of representative posts has been formed. Long-term series of data on the average monthly discharge of rivers for the period from 1950 to 2017 were obtained. Using the Python programming language, the hydrological characteristics necessary for building a model for the automatic classification of water regime types were calculated. Geo-spatial data for the study area has been prepared. An algorithm for automatic classification of rivers by types of water regime using the R programming language has been developed. Conclusions have been drawn regarding the efficiency of the obtained algorithm. A new classification of the modern water regime of the rivers of the European territory of Russia has been compiled.

Введение

Гидрологический режим представляет собой уникальную для каждой территории закономерность в изменении состояния водных объектов. Одной из причин для разработки различных методов районирования рек является локальная неравномерность таких характеристик как: тип водного питания, морфологические и климатические условия. Так же, необходимость анализа трансформации водного режима продиктована потерей актуальности существующих на данный момент методик и классификаций. Большая часть существующих на данный момент работ, посвященных типизации водного режима написаны многие годы назад и уже потеряли свою актуальность ввиду изменений водного режима рек европейской территории России. В настоящей работе рассмот-

рены принципы работы новой модели автоматической классификации рек по типу водного режима. Обилие актуальной гидрометеорологической информации, автоматизация расчетов, развитие информационных технологий позволило уйти от общегеографических закономерностей классификации к более современным количественным методам. Современные подходы к анализу водного режима снижают возможности субъективной оценки процессов анализа, позволяют получить точные численные показатели районирования и информативную визуализацию [1]. Данная модель основана не методах пространственно-ограниченной кластеризации элементов диаграммы Вороного, построенной на сети гидрологических постов Европейской территории России. Модель была реализована с помощью языка программирования R.

Материалы и методы

В качестве исходных данных для работы были использованы среднемесячные расходы 395 рек европейской территории России. В составе выборки были реки, площади водосборов которых изменялись от 1000 до 100 000 км² и более. Основными признаками репрезентативности многолетнего ряда наблюдений являлось отсутствие пропусков и территориальное расположение. Для каждого многолетнего ряда наблюдений были рассчитаны следующие гидрологические характеристики, по которым в дальнейшем и происходила типизация.

- Месяц прохождения максимального месячного стока (nMax)
- Доля стока за весенний сезон (dP)

- Отношение максимального расхода к среднему годовому ($Q_{\max} / Q_{\text{year}}$)
- Коэффициент естественной зарегулированности (ϕ)

Так как данные о расходах рек локализованы в точке, а районирование необходимо провести сплошным образом, была использована диаграмма Вороного.

Диаграмма Вороного – определенное разбиение плоскости на пятиугольные ячейки, вершины которых ближе к центру данной ячейки чем к соседним центрам. Переход к диаграмме Вороного позволяет разбить всю территорию на “зоны влияния” точек [2].

Следующим этапом работы было построение пространственно-ограниченной кластеризации, которая позволит произвести типизацию рек по типам водного режима. Выполнение данной задачи происходило в три этапа:

1. Посторонние графа соседства, позволяющего определить пространственную связность ячеек диаграммы Вороного.
2. Определение весов полученных пространственных связей. Каждая из связей характеризовалась числовой величиной, отражающей степень их отличия по четырем выбранным характеристикам.
3. Объединение смежных ячеек в кластеры, по которым в дальнейшем определяется принадлежность к определенному типу водного режима.

Соседство ячеек определялось по правилу ферзя, которое означает, что две ячейки считаются смежными, если у них есть хотя бы одна общая граничная точка. Веса пространственных связей (spatial weights) вычисляются для каждого ребра графа с целью охарактеризовать степень отличия связанных им точек по набору заданных критериев. Для вычисления весов было введено ранговое расстояние, определяемое следующим образом: для двух значений, измеренных в общей ранговой шкале, ранговое расстояние есть модуль разности номеров рангов соответствующих значений. Вес пространственной связи D_{ij} определялся как сумма ранговых расстояний d_{ijk} по каждому критерию с коэффициентами важности w_k , вводимыми для того чтобы усилить роль того или иного показателя.

$$D_{ij} = \sum_k w_k d_{ijk}$$

Результирующая кластеризация получается путем объединения смежных ячеек, вес пространственной связи между которыми не превышает заданный уровень значимости.

Результаты

Для некоторых из классифицируемых параметров был задан увеличенный уровень значимости для того чтобы получить более наглядный результат. Такие параметры назывались ведущими. В данной работе ведущими параметрами стали месяц прохождения максимального месячного стока и доля стока за весенний период.

На Рис. 1. представлена итоговая кластеризация

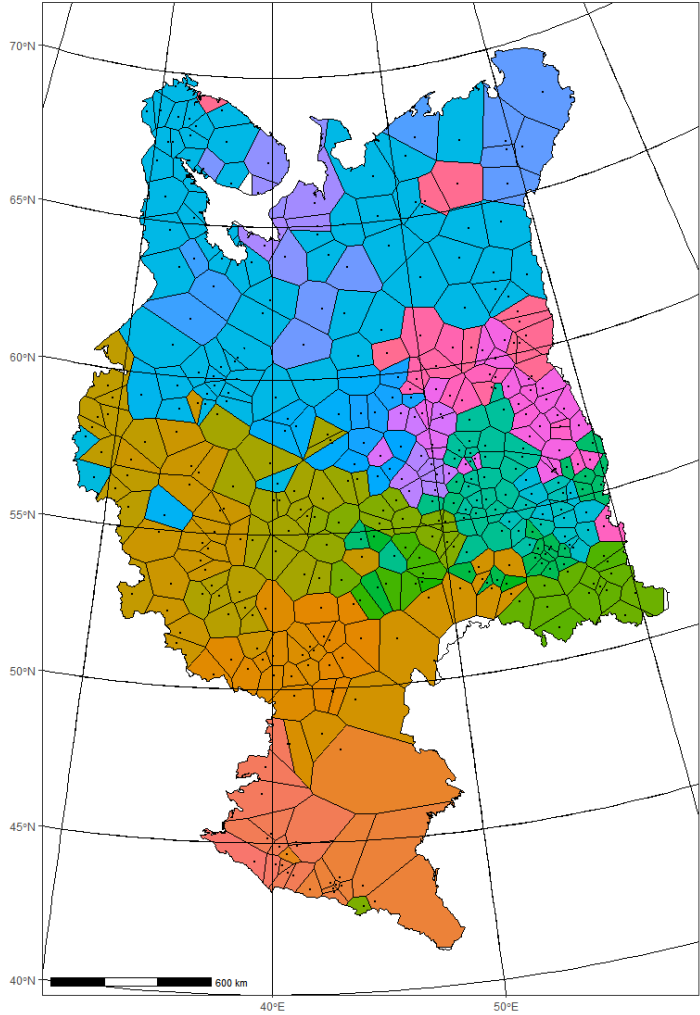


Рис.1. Кластеризация при ведущих факторах p_{max} и dP за период 1945 - 2018

Полученная карта очень хорошо отображает локальные изменения водного режима, ярко выражена широтная зональность. По резкому изменению цвета ячеек диаграммы можно определить границы тех или иных водосборов. Сравнивая полученную карту с картой типов водного режима В.М. Евстигнеева [3], можно заметить некоторое сходство. Например, на полученной карте четко прослеживается граница типов водного режима северных рек и рек центральной России, там же где на карте В.М. Евстигнеева [3] проходит граница типов рек с устойчивой меженью и эпизодическими паводками и реками с периодическими паводками. Алгоритм так же правильно отделил горные реки на Юге России.

Заключение

Подводя итоги проделанной работы можно сделать вывод о том, что составленная модель справилась с поставленной задачей. Все вышеперечисленные сходства между сгенерированной алгоритмом классификацией и классификацией составленной В.М. Евстигнеевым [3] дают понять, что полученный результат обладает большой научной значимостью. Так же стоит сказать о необходимости дальнейшего изучения закономерностей в трансформации водного режима, в разработке классификаций и схем районирования. Необходимость данного направления продиктована изменением степени изученности бассейнов, потерей актуальности существующих

картографических обобщений, появлением современных технологий анализа пространственных данных.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 19-77-10032.

Список литературы

1. Фролова Н. Л., Повалишникова Е. С., Киреева М. Б. Классификация и районирование рек по водному режиму: история, методология, перспективы //Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48. – №. 2. – С. 121-134.
2. Карабцев С. Н., Стуколов С. В. Построение диаграммы Вороного и определение границ области в методе естественных соседей //Вычислительные технологии. – 2008. – Т. 13. – №. 3.
3. Евстигнеев В.М., Шенберг Н.В., Анисимова Н.В., Зайцев А.А. Водный режим рек России и сопредельных территорий. Карта для высших учебных заведений масштаба 1 : 8000000. Новосибирск: Новосибирская картографическая фабрика Роскартографии, 2001.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕЖГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

В.А. Горчаков¹, А.Ю. Дворников¹, С.М. Гордеева^{1,2}, В.А. Рябченко¹

¹Санкт-Петербургский Филиал Института Океанологии им.П.П.Ширшова РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

SPATIAL VARIABILITY OF INTERANNUAL TEMPERATURE OSCILLATIONS IN THE BARENTS SEA AND THE KARA SEA

V.A.Gorchakov¹, A.Y.Dvornikov¹, S.M.Gordeeva^{1,2}, V.A.Ryabchenko¹

¹St.-Petersburg Branch of the P.P.Shirshov Institute of Oceanology, RAS, St.-Petersburg, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, St.-Petersburg, Russia

Исследуются межгодовые колебания температуры Баренцева и Карского морей в слоях 0-50 и 50-200 метров в период с 1975 по 2005 гг., воспроизведенные на основе модельных решений без привлечения данных реанализа. В колебаниях температуры воды и воздуха выделены 4 основных на периодах 1.8, 2.3-3.5, 3.9-5.8 и 6.3-10.5 лет, хорошо согласующиеся с диапазонами периодов колебаний на станциях «Кольского меридиана».

Interannual temperature fluctuations in the Barents and Kara Seas in the period from 1975 to 2005, reproduced on the basis of model solutions without using reanalysis data, are investigated. 4 main fluctuations in water and air temperatures are distinguished at periods 1.8, 2.3-3.5, 3.9-5.8 and 6.3- 10.5 years, well consistent with the ranges of periods of oscillations at the stations of the "Kola Meridian".

Введение

Межгодовые колебания температуры бассейнов Баренцева и Карского морей формируются под воздействием целого ряда факторов. Во-первых, это глобальные колебания системы океан – атмосфера, такие как Чандлеровские колебания с главным периодом порядка 14 месяцев и амплитудные вариации на частоте их биений, соответствующие периодам 6.3 года [1], и колебания системы Эль-Ниньо – Южное колебание, где наиболее мощными статистически значимыми оказываются полосы повышенной спектральной плотности на периодах 5.1, 3.8, 3.6 и 2.9 года [2]. Во-вторых, на термодинамический режим Западной Арктики способно оказывать влияние Северо-Атлантическое колебание, для которого в межгодовом масштабе заметна квазидвухлетняя цикличность и повышенная повторяемость на периоде 8–10 лет [3]. В полярных и субполярных областях Северного Ледовитого океана (СЛО) также выделяют 3-х, 5-ти и 10-ти летние цикличности аномалий интегрального теплосодержания в верхнем слое океана [5].

Исследованные в [5] на основании данных ПИНРО колебания межгодовой изменчивости температуры воды Баренцева моря демонстрируют периоды колебаний температуры воды в 18.6 лет, а также в 6.2 и 55.8 лет, что равно оборотам этого цикла. При исследовании циркуляции атмосферы и океана в районе Северо - Европейского бассейна [6] выявлена периодичность 7-8 лет, которая, по предположению авторов, формируется в результате взаимодействия системы атмосфера – океан – морской лед в акватории Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана. Кроме того, в [6] были обнаружены слабые колебания климатических характеристик с периодами 2-3 года, 10-12 и 20 лет. В температуре воды и приземном атмосферном давлении в Северной Атлантике также было обнаружено колебание с периодом 7.7 лет

[7]. В естественной изменчивости температуры воздуха на метеостанции Свалбард (Svalbard) Шпицбергена также были выявлены циклы с амплитудой около $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и периодами 2.5, 5.1, 8.7, 12.3, 36.7 лет [8].

Приведенные выше результаты основаны на использовании данных наблюдений. Однако, в связи с небольшим числом и ограниченным доступом к данным о долгосрочных наблюдениях в локальных фиксированных географических точках или разрезах в Баренцевом и Карском морях, эти исследования не в состоянии описать пространственную-временную структуру межгодовых колебаний. В настоящее время этот недостаток можно восполнить, привлекая глобальные и региональные модели общей циркуляции океана. Одна из первых попыток такого сорта была сделана в [9], где с использованием результатов региональной вихререшающей модели океана MIT и атмосферного реанализа ERA-Interim исследовались сезонные и межгодовые вариации адвективных потоков тепла в океане и атмосфере в регионе Баренцева моря за период 1993-2012 гг., выявившие в колебаниях обеих характеристиках циклы с периодами 2-4 и 5-8 лет, хорошо согласующиеся с результатами наблюдений.

В сложных модельных системах, с обратными связями, будут неизбежно возникать осцилляции в результате взаимодействия отдельных частей модельного комплекса, оказывающие влияние на межгодовую изменчивость решения. Подавляющее большинство проявлений таких сигналов представляют собой нестационарный квазипериодический процесс. Если степень стационарности может быть определена статистическими методами на основе расчета математического ожидания и дисперсии, то цикличность обычно предполагается неизменной и определяется стандартным разложением Фурье с выявлением частот. Этот подход, однако, имеет ряд недостатков: во-первых, если исходный цикл сильно отличается от функции синуса, в спектре проявляются несколько обертонов несущей частоты, которые могут

быть приняты за самостоятельные циклы и ошибочно интерпретированы; во-вторых, с течением времени, периоды колебаний могут увеличиваться и уменьшаться, то есть может проявляться нестационарность по частоте. Для выявления этой особенности был разработан метод вейвлет-анализа [10], который позволяет исследовать циклические компоненты вне зависимости от того, как меняется их частота.

Целью работы является выявление основных межгодовых колебаний температуры воды и воздуха с учетом ледяного покрова, а также оценку их пространственной структуры в Баренцевом и Карском морях в интервале от 1 до 12 лет на основе модельных решений, без привлечения данных реанализа.

Методы и подходы

Расчет современного климата для акваторий Баренцева, Карского и Белого морей осуществлялся гидродинамическим моделированием в два этапа. На первом этапе, для получения «грубого» решения, выполнялись расчеты на глобальной совместной модели Мирового океана - Атмосферы. Использовался модельный комплекс ROM (Regionally coupled atmosphere-ocean-sea ice-marine biogeochemistry model), включающий в себя совместную (океан - морской лед) модель МРИОМ (Max Planck Institute Ocean Model), и атмосферную модель REMO (Regional atmosphere Model). Сетка океанской модели МРИОМ покрывает весь Мировой океан с фокусом на исследуемую область. В районе Баренцева и Карского морей разрешение составляет приблизительно 20 км. Атмосферная модель REMO покрывает всю Европу, часть Арктики и Северную Атлантику. На боковых границах REMO задавались данные атмосферного реанализа NCEP/NCAR. На втором этапе расчеты проводились с помощью региональной модели Баренцева и Карского морей более высокого разрешения, построенной на основе общей модели циркуляции Массачусетского Технологического Института (MITgcm –

Massachusetts Institute of Technology general circulation model). В качестве модели морского льда используется модель вязко-пластической реологии.

Период счета составлял 40 лет (1966–2005 гг.), однако, чтобы избежать включения в результаты расчета время адаптации модели, в дальнейшем рассматривался только период с 1975 по 2005 годы.

Исследование временной изменчивости гидрологических характеристик на больших пространствах требует обработки большого количества информации. Для «сжатия» этой информации для полей среднегодовых значений температуры поверхности моря был применен метод факторного анализа. В результате обработки в пределах Баренцева и Карского морей выделено 7 районов, с квазисинхронной межгодовой изменчивостью в которых выбраны девять реперных точек: три на западной границе акватории, три в акватории Баренцева моря и три в акватории Карского моря, в которых и проводился вейвлет-анализ временных рядов температуры воды и воздуха. В работе использовалось вейвлет-преобразование с базисной функцией Морле вида $\psi = e^{-x^2/2} \cos(5x)$ [10].

Результаты

Вклад межгодовых колебаний температуры в общую картину колебаний оценивался по среднемесячным данным станций 3-7 (горизонты 0-50) разреза «Кольский меридиан» за период 1975-2005 гг. из которых предварительно были удалены сезонные колебания и тренд. Амплитуда сезонной изменчивости температуры здесь составляет 4.4 °С, а разница между максимальным и минимальным межгодовыми значениями составляет 3 °С. Как видно, амплитуды сезонных и межгодовых колебаний являются величинами одного порядка.

Анализ вейвлет-скейлограмм Морле в точках разреза «Кольский меридиан» для среднемесячных значений темпе-

ратуры воды по данным наблюдений и результатам расчета по моделям, температуры воздуха позволили выделить следующие периоды значимых колебаний: 1.6-1.8, 2.3-2.9, 3.6-4.6 и 8.3-8.8 лет. Амплитуды выделенных колебаний меняются со временем в течение рассматриваемого периода, а на определённых интервалах времени они и вовсе становятся незначимыми.

Колебания площади ледового покрова Баренцева моря, анализируемые по данным наблюдений ААНИИ, моделей МРЮМ и МТГсм позволяют выделить 3 основных колебания на периодах 2.5, 5.0 и 8.2 лет, которые, с разной интенсивностью, проявляются на всем рассматриваемом периоде 1974-2005 гг. Периоды всех колебаний по данным наблюдений оказываются на 0.5–1 год длиннее, чем в модельных расчетах (рис. 1а-г).

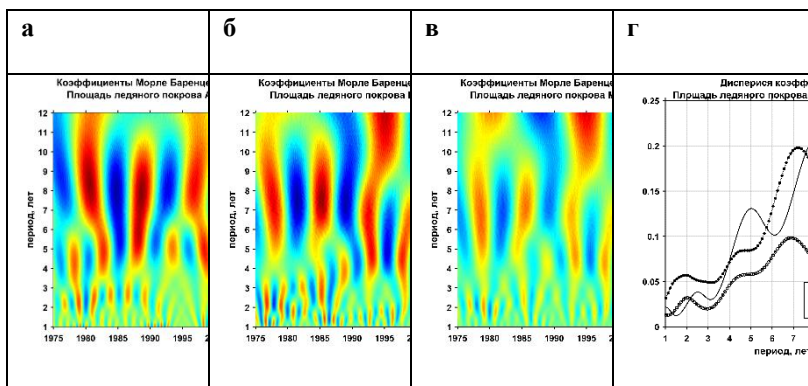


Рис 1. Вейвлет-скейлограммы колебаний площади ледяного покрова Баренцева моря: по данным ААНИИ (а); по модели МРЮМ (б); по модели МТГсм (в). Сводный график дисперсий вейвлет-коэффициентов по периодам скейлограмм (г).

В Карском море так же наблюдается 3 основных колебания площади ледяного покрова, но на других периодах:

1.2, 4.2 и 9.5 лет. Периоды первых двух колебаний модельных решений совпадают с их значениями, оцененными по данным наблюдений, а период третьего колебания оказался меньше на 1.5-1.6 года.

Пространственное распределение климатических аномалий рассчитанных по модели MIТgcm значений температуры воды в слоях 0-50 метров и 50-200 метров и использованной в качестве форсинга температуры воздуха демонстрирует связь размаха их колебаний с положением кромки ледового покрова. Максимальные значения размаха колебаний температуры воздуха отмечаются в областях, где ледовый покров непостоянен, но существует значительную часть года. Несколько меньшими, но близкими по величине оказывается размах в районах практически постоянно покрытыми льдом. Заметно меньшими оказывается размах колебаний в тех частях морей, которые покрыты льдом меньшую часть года.

Распределение характеристик колебаний температуры воды в Баренцевом море имеют иную закономерность. Минимальным оказывается размах в областях, преимущественно покрытых льдом, в северных частях западной границы Баренцева моря и акваторий морей. При смещении к югу, в область, где кромка ледяного покрова более подвижна, размах колебаний растёт, достигая максимума в южной части границы, где ледовый покров отсутствует. В Карском море поведение характеристики не демонстрирует устойчивых закономерностей и существенно различается в разных его частях.

Анализ периодов дисперсий вейвлет-коэффициентов температуры воды в 9 рассматриваемых точках позволил выделить диапазоны 4-х основных несущих частот колебаний, соответствующие периодам 1.0-1.8, 2.3-3.5, 3.9-5.8 и 6.3-10.5 лет, которые согласуются с диапазонами периодов основных несущих колебаний, полученных на станциях «Кольский меридиан». Интенсивность этих колебаний также зависит от

положения кромки ледового покрова. В точках, где ледовый покров в летние месяцы отсутствует интенсивность колебаний возрастает с севера на юг, причем оказывается больше в областях, покрытых льдом меньше время.

Для рассмотрения горизонтальной структуры основных колебаний температуры воды по результатам модели МПГсм, рассмотрены фиксированные частоты, характерные для модельных решений и данных наблюдений, и распределения амплитуд колебаний на этих частотах в пространстве. Для 4 диапазонов частот выбраны значения периодов: 1.7, 2.9, 4.1 и 8.7 лет. Используя классическое преобразование Фурье, были рассчитаны амплитуды этих колебаний в Баренцевом и Карском морях, приведенные на рис.2.

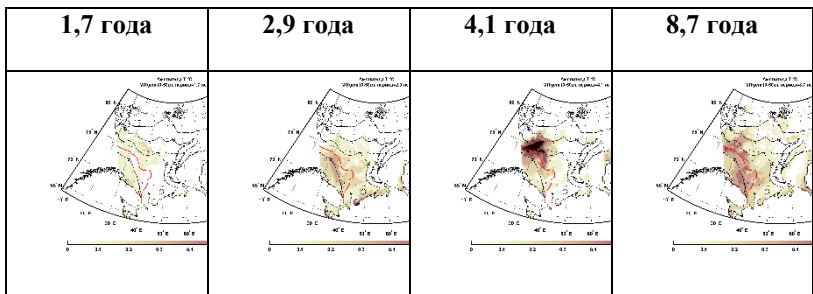


Рис 2. Амплитуды колебаний температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) в слое 0-50 метров по данным модели МПГсм на различных периодах. Красная и черные линии – соответственно климатическое (среднегодовой) и среднемесячные (в мае, сентябре, октябре и ноябре) положения кромки ледяного покрова, определенные по 15-процентной концентрации льда в ячейке сетки.

Амплитуды колебаний температуры воды с периодом 8.7 лет достигают максимальных значений 0.6°C вблизи положения средней климатической кромки ледяного покрова в Баренцевом море. Для колебания с периодом 4.1 года максимумы амплитуд отмечается существенное падение амплитуды в открытой зоне, свободной ото льда в течение всего года. На более коротких периодах, 2.9 и 1.7 лет, колебания температуры также наиболее заметны в зонах свободных ото льда и около его климатической кромки. Т.е. наибольшие амплитуды колебаний температуры приходятся на зоны наибольшей вариативности площади ледяного покрова.

Выводы

1. Во временном ходе рассчитанных по модели МПГсм значений температуры воды на горизонтах 0-50 м станций 3-7 разреза «Кольский меридиан» присутствуют колебания тех же периодов, что и в данных наблюдений.

2. Во временной изменчивости температуры воды и воздуха в локальных точках выделены диапазоны 4-х основных несущих частот колебаний рассматриваемых характеристик, соответствующие периодам 1.8, 2.3-3.5, 3.9-5.8 и 6.3-10.5 лет, хорошо согласующиеся с диапазонами периодов основных несущих колебаний этих характеристик на станциях «Кольского меридиана».

3. Пространственные распределения амплитуд колебаний температуры воды на разных частотах демонстрируют, что наибольшие их значения приходятся на зоны наибольшей вариативности ледяного покрова.

Литература

1. Горшков В.Л. О влиянии полюсного прилива Земли на сейсмическую активность // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2015. Сер. 1. Том 2 (60). Вып. 4. С.646-656.
2. Серых И.В., Д. М. Сонечкин Хаос и порядок в атмосферной динамике. Часть 2. Междугодовые ритмы Эль-Ниньо –

- Южного колебания // Известия вузов «ПНД». 2017. Т. 25, № 5. С.5-25
3. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. – М.: Триада, лтд, 2013. – 144 с.
 4. Madhusoodanan M.S., Thompson B. Decadal variability of the Arctic Ocean thermal structure // *Ocean Dyn.* 2011. V. 61. № 7. P. 873–880.
 5. Yndestad H., Turrell W. R., & Ozhigin V. Lunar nodal tide effects on variability of sea level, temperature, and salinity in the Faroe-Shetland Channel and the Barents Sea // *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers.* 2008. Vol. 55, N 10. P. 1201–1217. <http://doi.org/10.1016/j.dsr.2008.06.003>
 6. Смирнов Н.П., Воробьев В.Н., Дроздов В.В. Циклонический центр действия атмосферы и океана в Северной Атлантике // Ученые записки РГТМУ. 2010. № 15. С.117-134.
 7. Da Costa E., De Verdier C. The 7.7-year North Atlantic Oscillation // *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 2002. N 128. P. 797–817.
 8. Humlum O., Solheim J.-E., Stordahl K. Spectral Analysis of the Svalbard Temperature Record 1912–2010. // *Advances in Meteorology.* 2011. Article ID 175296, 14 p. doi:10.1155/2011/175296
 9. Башмачников И. Л., Юрова А. Ю., Бобылев Л. П., Весман А. В. Сезонная и межгодовая изменчивость потоков тепла в районе Баренцева моря // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2018, Т. 54. № 2. С. 239–249. DOI: 10.7868/S0003351518020149
 10. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения// *Успехи физических наук.* 1996. Т. 166, №11. С.1145-1170.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ РАЗРЫВОВ, ЗОН
СЖАТИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ АРК-
ТИЧЕСКИХ МОРЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ АНА-
ЛОГОВ

Л.Н. Дымент, В.С. Порубаев

ФГБУ «Арктический и Антарктический НИИ», Санкт-
Петербург, Россия

FORECASTING OF THE ORIENTATION OF LEADS, ZONES
OF COMPRESSION AND DIVERGENCE IN THE ICE COV-
ER OF THE ARCTIC SEAS BASED ON COMPLEX ANA-
LOGUES

L.N. Dyment, V.S. Porubaev

**State Research Center "Arctic and Antarctic Research Insti-
tute", Saint-Petersburg, Russia**

*Разрабатываемый метод прогноза основан на использовании ком-
плексных аналогов, каждый из которых представляет собой набор
полей атмосферного давления, дрейфа льда, дивергенции скорости
дрейфа, модальной ориентации и плотности разрывов. Для про-
гностического поля атмосферного давления над морем будет вы-
бран комплексный аналог с аналогичной структурой поля атмо-
сферного давления. В этом случае поля характеристик разрывов из
аналога будут взяты как прогностические.*

*The developed forecast method is based on the use of complex analogs,
each of which is a set of fields of atmospheric pressure, ice drift, drift
velocity divergence, modal orientation and leads density. A complex
analogue with a similar structure of the atmospheric pressure field will
be selected for the predictive field of atmospheric pressure over the sea.
In this case, the fields of lead characteristics from the analog will be
taken as predictive.*

Введение

Нарушения сплошности морского ледяного покрова, именуемые также разрывами, представляют собой трещины, каналы и разводья с открытой водой или покрытые льдом не старше молодого. Они образуются в ледяном покрове как арктических морей, так и Арктического бассейна. Протяженность разрывов может достигать несколько сотен километров и более, а ширина – от нескольких метров до 10 км.

Разрывы используются при проводке транспортных судов ледоколами в Арктическом бассейне и в зимне-весенний период в арктических морях. При использовании судоводителями попутных разрывов скорость движения увеличивается в 1,5–2 раза [1].

Возможность заблаговременно планировать оптимальный маршрут следования судов во льдах с учетом попутных разрывов обуславливает востребованность прогнозов преобладающей ориентации разрывов и зон их образования при плавании в различных районах Северного Ледовитого океана и навигации по трассе СМП в зимне-весенний период.

В конце прошлого и начале текущего столетия в ААНИИ разрабатывался метод прогноза крупных нарушений сплошности льда в Арктическом бассейне [2] и в Карском море [3] на основе осредненных карт приземного давления атмосферы. В настоящее время возникла необходимость создать автоматизированный метод прогноза разрывов для морей Лаптевых и Восточно-Сибирского на 5 дней с детализацией по суткам.

Аналоговый метод прогноза характеристик разрывов в ледяном покрове

Воздушные потоки, воздействуя на ледяной покров, формируют поля дрейфа льда. Неравномерность поля скорости дрейфа льда вызывает деформации ледяного покрова, приводящие к образованию в нем зон сжатия и разрежения [4]. При интенсивном сжатии в ледяном покрове формируются гряды

торосов, а под воздействием деформации растяжения образуются разрывы.

Ветер зависит от градиента атмосферного давления, и потому поля давления являются первичным предиктором для прогнозирования характеристик разрывов.

Использование природных связей между полями атмосферного давления, дрейфом льда, дивергенцией его скорости и характеристиками разрывов в ледяном покрове позволило разработать аналоговый метод прогноза характеристик разрывов [5]. Суть аналогового метода прогноза заключается в подборе по ретроспективным данным среднесуточных полей атмосферного давления, которые в пределах рассматриваемой акватории имеют по структуре максимальное сходство с прогностическим. Под сходством понимается совпадение направления воздушных потоков и значений градиента давления, подобие в расположении зон повышенного и пониженного давления и совпадение центров циклонической и антициклонической циркуляций при их нахождении на акватории моря. Если в электронном архиве не удастся найти поле атмосферного давления, которое бы являлось подобным прогностическому в пределах всего моря, возможен подбор нескольких полей, каждое из которых соответствует прогностическому только в каком-то одном районе моря. В этом случае итоговый аналог формируется в виде мозаики из отобранных полей. При успешном подборе аналога к прогностическому полю атмосферного давления предполагается, что и характеристики разрывов из этого аналога будут сходными с прогностическими.

Учитывая удовлетворительную оправдываемость этого метода в Арктическом бассейне [2], нами было решено применить его для разработки прогноза преобладающей ориентации и зон образования разрывов в таких арктических морях как Лаптевых и Восточно-Сибирское.

Типизация воздушных потоков

При составлении прогнозов характеристик разрывов по изложенному методу нужно иметь возможность быстро подобрать аналог для произвольного поля атмосферного давления. Для этого потребовалось провести типизацию полей атмосферной циркуляции, встречающихся над морем.

Анализ суточных синоптических карт за период с января 2016 г. по май 2021г. (за исключением летних периодов с июня до середины октября) позволил выявить группы аналогичных полей воздушных потоков и объединить их в отдельные типы. Основным признаком типа является направление воздушных потоков. В каждом типе было выделено по несколько подтипов, которые различаются, в основном, интенсивностью потоков воздуха. Интенсивность оценивалась в условных единицах, равных количеству изобар над морем кратных 5 мб, т.е. по градиенту атмосферного давления.

Всего было выделено 27 типов воздушных потоков. Восемь из них характеризуют ситуации, когда над всем морем преобладает ветер одного и того же направления. Направление ветра оценивается по 8 основным румбам. Воздушный поток относится к одному из этих типов, если его направление над всей акваторией моря отклоняется от направления основного типа не более чем на $22,5^\circ$.

В полях атмосферного давления, характерной особенностью которых является гребень антициклона или ложбина циклона, ветер в пределах одного моря имеет различное направление и интенсивность. Типы этих групп различаются по направлению осей гребней и ложбин, которое также оценивается по 8 основным румбам. Интенсивность воздушных потоков в этих типах определяется количеством изобар через 5 мб, отсчитываемых от оси гребня или ложбины перпендикулярно к направлению воздушного потока с запада и востока. Если ось гребня или ложбины расположена строго по линии запад–восток, изобары отсчитываются от нее сначала на север, а потом на юг.

Еще 2 типа воздушных потоков соответствуют полям атмосферного давления, когда над морем располагается центр циклона или антициклона. Подтипы этих типов различаются интенсивностью потоков в западной и восточной частях от центра вихревого образования.

Возможны случаи, когда над всей акваторией моря располагается малоградиентное поле атмосферного давления, при котором отсутствуют выраженные потоки воздуха. Такие ситуации выделены в отдельный тип. Подтипов этот тип не имеет.

При составлении прогноза разрывов в ледяном покрове определение типа и подтипа прогностической синоптической ситуации предложенным способом позволит ускорить, а в дальнейшем автоматизировать поиск аналогичного поля атмосферного давления.

Создание комплексных аналогов

Для каждого подтипа воздушных потоков в рамках разрабатываемого метода прогноза предполагается составить по несколько комплексных аналогов. В состав каждого комплексного аналога помимо поля атмосферного давления включены рассчитанные за эту же дату поля дрейфа льда и дивергенции его скорости, а также информация о разрывах, существовавших в ледяном покрове в этот период.

Информация о дрейфе льда имеется в свободном доступе на сайте OSI SAF. Эти данные представляют собой составляющие вектора скорости дрейфа, осредненные за 48 часов и интерполированные в узлы регулярной сетки с шагом 62,5 км. В результате последующих расчётов по ним дивергенции скорости дрейфа льда появляется возможность определить зоны сжатия и разряжения в ледяном покрове на акватории моря [6].

Исходными данными о разрывах в ледяном покрове служат снимки ИСЗ малого разрешения. После дешифрирования оцифровки разрывов рассчитываются значения их преоб-

ладающей ориентации и плотности расположения в пространстве по квадратам сетки 100×100 км. При составлении прогноза приоритетными считаются данные, полученные по фактическим данным со снимка ИСЗ. В случае отсутствия исходных данных по некоторым квадратам из-за невозможности дешифрирования разрывов вследствие облачности, в качестве их преобладающей ориентации возможно использовать расчетное направление малой оси эллипса скорости деформации [6].

Диагностические прогнозы

На начальном этапе разработки метода были составлены 2 диагностических прогноза характеристик разрывов в море Лаптевых. При этом за прогностическое поле атмосферного давления принималось соответствующее поле одного из имеющихся аналогов, а остальные служили исходными данными для составления прогноза. Прогноз составлялся по квадратам 100×100 км регулярной сетки, охватывающей всю акваторию моря.

В каждом подобранном аналоге были отмечены квадраты, расположенные в пределах зоны соответствия его поля атмосферного давления прогностическому. По этим квадратам были рассчитаны значения модальной ориентации и удельной длины разрывов. Значения этих характеристик разрывов вычислялись только по фактическим данным, полученным при дешифрировании снимков ИСЗ. Расчет преобладающей ориентации разрывов по направлению осей эллипсов деформации ледяного покрова в данном прогнозе не использовался. В связи с этим не все квадраты выбранной сетки оказались обеспечены данными.

Чтобы иметь возможность оценить оправдываемость составленного прогноза необходимо было сравнить значения характеристик в отображенных квадратах аналогов со значениями в соответствующих квадратах аналога, принятого за прогностический. В первом прогнозе доля квадратов, в кото-

рых различия между прогностическими и фактическими значениями модальной ориентации не превышали 30° , составила 68%, во втором – 74%. Близкие значения оправдываемости были получены при испытании аналогового метода прогноза ориентации разрывов в Арктическом бассейне [2].

По мере пополнения архива дешифрованных снимков ИСЗ и увеличения числа сформированных комплексных аналогов появилась возможность составить новые диагностические прогнозы в море Лаптевых. Среди них были зафиксированы случаи, когда при значительном сходстве двух полей атмосферного давления, принадлежащих разным временным периодам, преобладающая ориентация разрывов в эти же дни существенно различалась, что приводило к низкой оправдываемости прогноза. По-видимому, это объясняется тем, что в отличие от Арктического бассейна в арктических морях результирующий дрейф льда формируется не только под действием ветра, который определяется полем приземного давления. Дополнительное влияние берегов, рельефа дна и ледовых и гидрологических условий, сформировавшихся в предшествующие дни, приводит в арктических морях к существенному расхождению векторов ветрового и результирующего дрейфа льда. К ледовым условиям в данном случае относятся процессы сплочения и разрежения льда, которые в морях более выражены, чем в Арктическом бассейне, к гидрологическим – перекося уровня в результате ветрового воздействия.

Совокупное влияние перечисленных факторов должно приводить в арктических морях к связи преобладающего направления разрывов с его значением в предшествующий день. Для выявления этой связи из электронного архива разрывов в ледяном покрове моря Лаптевых было отобрано 40 периодов продолжительностью 2 суток в течение 2016–2020 гг. В каждом из них не менее трети акватории моря была обеспечена данными в оба последовательных дня. В квадратах 100×100 км, на которые была разбита акватория моря

Лаптевых, была рассчитана модальная ориентация разрывов отдельно за каждые сутки. Результаты расчетов показали, что при переходе от первого ко второму дню в двухдневном периоде в подавляющем большинстве случаев значение модальной ориентации разрывов изменилось менее, чем на 30° . В среднем за 40 рассмотренных периодов в 91% квадратов, участвующих в расчете, не наблюдалось существенного изменения преобладающего направления разрывов. Если тип ветровых потоков в течение двух дней не менялся, соответствующая величина возрастала до 97%. Даже при существенной смене направления ветровых потоков и высокой их интенсивности не менее чем в 72% от общего числа квадратов, обеспеченных данными за оба дня, значение модальной ориентации разрывов сохранялось.

Для подтверждения гипотезы о существовании инерции в изменении преобладающей ориентации разрывов при смене направления ветровых потоков было составлено 16 диагностических прогнозов. В каждом из них подобранные аналоговые поля атмосферного давления хорошо соответствовали прогностическим, но в 12-ти прогнозах имелись существенные расхождения между полями атмосферного давления в дни, предшествующие дате прогноза, и соответствующими полями в дни, предшествующие дате выбранного аналога. Оправдываемость модальной ориентации в этих прогнозах составила в среднем 62%. В 4-х случаях к прогностическому полю атмосферного давления удалось подобрать аналоги, у которых и в предыдущие 2 дня типы ветровых потоков были сходными с типами в дни, предшествующими прогностическому. Средняя оправдываемость в этом случае составила 84%. Таким образом, учет «предыстории» при выборе аналога существенно повышает оправдываемость прогноза.

Выводы

В настоящее время разрабатывается аналоговый метод прогноза характеристик разрывов в морях Лаптевых и Вос-

точно-Сибирском на основе электронного архива дешифрованных снимков ИСЗ, разработанной типизации ветровых потоков и их классификации для указанных морей и постоянно пополняемого комплекта комплексных аналогов.

Полученные результаты диагностических прогнозов разрывов в море Лаптевых свидетельствуют о необходимости при выборе аналога учитывать не только сходство его поля атмосферного давления с прогностическим, но и сходство соответствующих полей за 1-2 дня предшествующие датам прогноза и аналога.

Литература

1. *Фролов С.В.* Влияние ориентации нарушений сплошности льда на эффективность движения судов в Арктическом бассейне в летний период // Проблемы Арктики и Антарктики, №3, 2013. – С.35-45
2. *Горбунов Ю.А., Дымент Л.Н., Лосев С.М., Фролов С.В.* Среднесрочные прогнозы крупных нарушений сплошности льда при гидрометеорологическом обеспечении мореплавания в Арктическом бассейне // Метеорология и гидрология №9, 2008. – С.78-86
3. *Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н.* Метод диагностики и среднесрочного прогноза разрывов в ледяном покрове Карского моря // Труды ААНИИ, Т.443, 2001. – С.94-102
4. *Горбунов Ю.А., Карелин И.Д., Лосев С.М.* Природа нарушения сплошности морского ледяного покрова в зимнее время // Материалы гляциологических исследований, №55, 1986. – С.131-134
5. *Лосев С.М., Горбунов Ю.А.* Диагностика и среднесрочный прогноз нарушений сплошности морского ледяного покрова // Труды ААНИИ, Т.438, 1998. – С.13-25
6. *Лосев С.М., Горбунов Ю.А., Дымент Л.Н., Сергеева И.А.* Макродеформации ледяного покрова в Арктическом бассейне // Метеорология и гидрология, №8, 2005. – С.38-50.

НАИВЫСШИЕ УРОВНИ ВОДЫ РЕК ВОЛГИ И ОКИ В УЗЛЕ ИХ СЛИЯНИЯ

Ефимова М. А.¹, Георгиевский В. Ю.² д-р г-ф. наук.

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

²Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

THE HIGHEST WATER LEVELS OF THE VOLGA AND OKA RIVERS AT THE JUNCTION OF THEIR CONFLUENCE

Efimova M. A.¹, Georgievsky V. Yu.² Dr.Sc.

¹Russian state hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

²State hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia

Выполнен анализ многолетних изменений наивысших уровней воды р. Волга и произведена оценка уровня воды 1%-ой обеспеченности. Установлено наличие подпорных явлений на гидрологических постах, расположенных в районе узла слияния рек Волга и Ока.

Analysis of multi-year changes in the highest water levels of the Volga River and assessment of water level of 1% security was carried out. Presence of retaining phenomena at hydrological stations located near the junction of the Volga and Oka rivers was established.

Введение

Согласно Водному кодексу Российской Федерации [1] в целях предотвращения негативного воздействия вод на территории и объекты, должны приниматься меры по предотвращению негативного воздействия вод и обеспечиваться инженерная защита территорий и объектов от затопления.

Инженерная защита территорий и объектов от негативного воздействия вод осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации о градостроительной деятельности.

Территории поселений, расположенных на прибрежных участках, должны быть защищены от затопления паводковыми водами. За расчетный горизонт высоких вод следует принимать отметку наивысшего уровня воды повторяемостью: один раз в 100 лет - для территорий, застроенных или подлежащих застройке жилыми и общественными зданиями [2].

Задачей настоящей работы являлось определение уровня воды р. Волга у Нижнего Новгорода (г. Горький) обеспеченностью 1%, а также изучение подпорных явлений в узле слияния рек Волги и Оки.

Материалы и расчеты

Водомерный пост на р. Волга у Нижнего Новгорода был открыт в 1719 году около механического завода Курбатова (курбатовская рейка), регулярные наблюдения велись с 1850 года. Наивысшие уровни воды с 1719 года до 1940 были приведены в работе [3]. Так же в ней представлены наивысшие уровни воды 15 высоких половодий, отмеченные в период 1719-1846 гг. на стенах Макарьево-Желтоводского монастыря, расположенного в 96 км ниже г. Нижний Новгород. Уровни воды были увязаны с уровнем воды на водомерном посту Исады, а затем по кривой связи перенесены в г. Нижний Новгород.

Для оценки наивысших уровней воды р. Волга у г. Нижний Новгород повторяемостью 1 раз в 100 лет были использованы все имеющиеся материалы по уровенному режиму реки за весь период.

Для анализа подпорных явлений были собраны данные об ежедневных уровнях воды рек Волги и Оки по 6 постам за ряд лет с высоким весенним половодьем [4]. Сведения о гидрологических постах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Список гидрологических постов, данные по которым использовались при анализе

ре-ка	наименование поста	расстояние от устья	F _{всб} , км ²	дата открытия	координаты		Отм. нуля графика
					х	у	
Волга	Городец	2405	229000	30/III 1876	5638	4328	66.50
	Балахна	2385	231000	24/IX 1902	5629	4338	65.52
	Сормово	2361	234000	10/XII 1931	5622	4354	62.92
	Горький	2354	479000	4/XII 1876	5603	4438	63.12
Ока	Новинки	17	245000	20/IX 1932	5612	4352	60.04
	Горький	1.2	245000	4/V 1877	5620	4400	63.80

На рисунке 1 приведены наивысшие в году уровни воды за весь рассматриваемый период. Уровни воды с 1719 по 1846 года измерялись не каждый год, а только в период превышения нуля “курбатовской рейки”. Точками отмечены наивысшие в году уровни воды с эпизодическим наблюдением до 1846 года, сплошной линией - уровни воды с регулярным наблюдением.



Рисунок 1. Наивысшие в году уровни воды на р. Волга у г. Нижний Новгород за период 1719-2020 года

По графику видно, что уровенный ряд является неоднородным, что связано, прежде всего, с созданием в 1941 году Рыбинского водохранилища многолетнего регулирования. С начала наблюдений по 1940 год водный режим реки можно рассматривать, как естественный. С 1941 года водный режим реки является нарушенным в результате эксплуатации водохранилища, а с 1956 года введено в строй Горьковское водохранилище, которое так же влияет на уровенный режим р. Волга.

Для дальнейших расчетов ряд был поделён на 3 периода. Первый период с 1719-1940, второй – 1941-1955, третий 1956-2020. Построение аналитических кривых обеспеченностей проводилась при помощи кривой распределения Пирсона III типа. На рисунке 2 представлены кривые обеспеченности наивысших уровней воды, построенные за естественный период и за период 1956-2020 года.

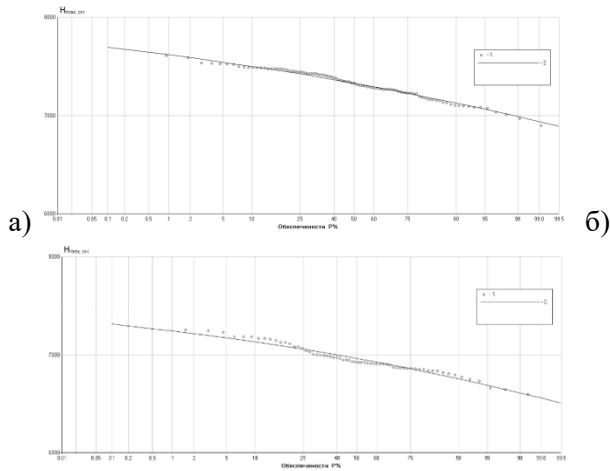
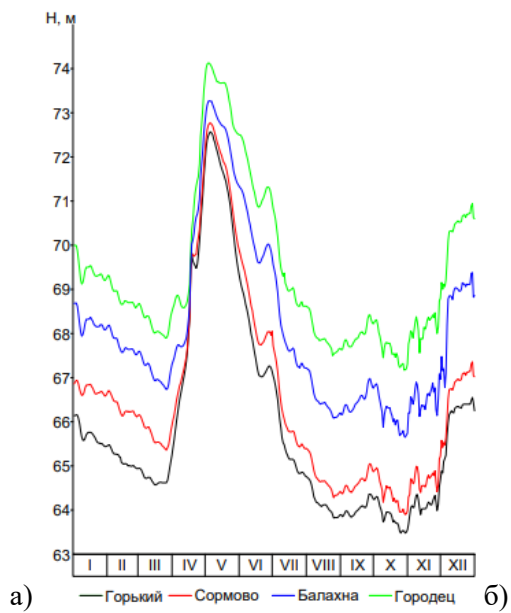


Рисунок 2. Эмпирические и аналитические кривые обеспеченности за а) 1719-1940, в)1956-2019.

В результате получены расчетные уровни воды 1% обеспеченности за 2 периода. За период с естественным водным режимом он составил 76.18 м БС, а в условиях зарегулирования Рыбинским и Горьковским водохранилищами – 73.11 м БС. Анализируя наивысшие уровни обеспеченности 1%, можно сказать, что в современных условиях уровни существенно снизились.

На рисунке 3 приведены ежедневные уровни воды по гидрологическим постам на реках Волга и Ока за 1955 год.



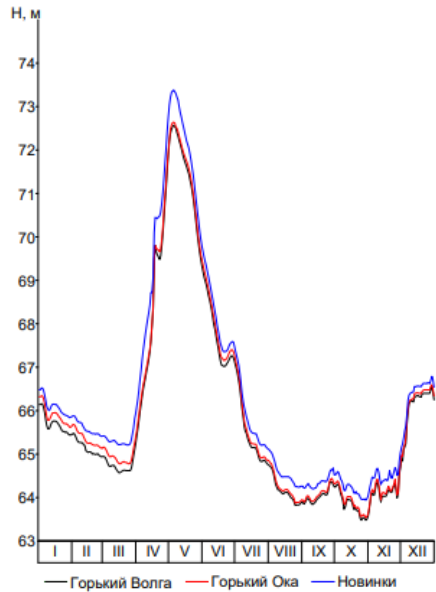


Рисунок 3. Графики ежедневных уровней воды за 1955 год на реках а) Волга и б) Оки

Синхронность изменений на гидрологических постах, расположенных на р. Волга связана тем, что река на рассматриваемом участке не имеет крупных притоков, которые могли бы повлиять на формирование наивысших уровней воды в рассматриваемой части. Главным фактором, определяющим уровеньный режим, является расход воды, сбрасываемый с Горьковского водохранилища. Как видно из приведенных на рисунке 3 данных наивысших уровней воды р. Волга у г. Сормово и р. Ока у г. Нижний Новгород формируется в условиях подпора.

Вывод

Наивысший уровень воды обеспеченностью 1% р. Волга у г. Нижний Новгород в условиях зарегулированности стока водохранилищами составляет 73.11 м БС. При этом уровни воды р. Волга у г. Сормово и р. Ока у г. Нижний Новгород с учётом выявленных подпорных явлений могут быть приближенно оценены соответственно 73.31 м БС и 73.18 м БС.

Литература

1. Водный кодекс Российской Федерации" от 03.06.2006 N 74-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. - 2006
2. Градостроительный кодекс РФ от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ.
3. Б. Д. Зайков Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. - Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1954.
4. Гидрологический ежегодник. Бассейн Каспийского моря (без Кавказа и Средней Азии). Том 4. Выпуск 1-3, 1940 - 66 г.г.; Ленинград: Гидрометеоздат.

УЧАСТИВШИЕСЯ СЛУЧАИ ПОЛНОГО ОЧИЩЕНИЯ ОТО ЛЬДОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ, КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В ЗАПАДНОМ РАЙОНЕ АРКТИКИ

А.Б. Тюряков, Е.С. Егорова

Федеральное Государственное Бюджетное Учреждение
«Арктический и антарктический научно-исследовательский
институт», Санкт-Петербург, Россия

INCREASED CASES OF COMPLETE ICE CLEARANCE IN THE BARENTS SEA IN RECENT DECADE AS AN INDICATOR OF CLIMATE WARMING IN THE WEST- ERN ARCTIC

A.B. Tyuryakov, E.S. Egorova

Federal State Budgetary Institution «Arctic and Antarctic Re-
search Institute», St. Petersburg, Russia

*Участившееся за последнее десятилетие количество случаев пол-
ного очищения Баренцева моря ото льдов, как следует из анализа,
можно расценивать, как показатель потепления климата в Запад-
ном районе Арктики.*

*Increased cases of complete ice clearance in the Barents Sea in recent
decade, as follows from the analysis, can be considered as an indicator
of climate warming in the Western Arctic.*

Введение

С начала 60-х гг. XX в. Баренцево море вполне оправданно разделяется на три однородных ледово-гидрологических района (рис. 1), разнящихся между собой в ледовом, гидрологическом и ветровом режиме [1].

Рис. 1. Однородные ледово-гидрологические районы Баренцева моря

Юго-восточный район Баренцева моря, наименьший по



площади, практически ежегодно полностью очищается ото льдов в летний период, а ледообразование начинается на фоне чистой воды в его восточной, юго-восточной части, наиболее мелководной и распреснённой, и распространяется в западном и северо-западном направлении. Юго-восточный район Баренцева моря практически полностью покрывался льдом лишь однажды — в экстремально холодном 1979 г. (ледовитость в том году с февраля по май составляла 99%). В остальные аномально холодные зимы ледовитость этого района в период максимального развития ледяного покрова (с конца марта по начало апреля) составляла 85–98%.

Западный район Баренцева моря, наименее ледовитый из трёх районов и наибольший по площади, испытывает значительное влияние относительно более тёплых Атлантических вод, проникающих с запада в его центральную и южную час-

ти в водных массах Нордкапского и Мурманского поверхностных течений. Западный район Баренцева моря 20 раз полностью очищался ото льдов за 94-х летний ряд наблюдений, а максимальная его ледовитость в апреле, периоде максимального развития ледяного покрова, в 1929 г составила 82%.

Северо-восточный район Баренцева моря, особенно его северная часть, подвержена влиянию холодных Арктических вод, поступающих в море из Центрального Арктического Бассейна, и переносимых в его центральную часть холодным течением Макарова. На ледовый режим южной части района оказывают некоторое влияние относительно более тёплые Атлантические воды, приносимые Прибрежной и Восточной ветвью Новоземельского течения. Северо-восточный район Баренцева моря является наиболее ледовитым: 9 раз за всю историю наблюдений он практически полностью покрывался льдом (ледовитость составляла 99%) в период максимального развития ледяного покрова, т.е. в апреле-мае, и 13 раз происходило его полное очищение в период с августа по октябрь. Полностью же очищались ото льда все три района одновременно, то есть акватория всего Баренцева моря, 10 раз за всю историю наблюдений (с 1928 по 2021 гг.), причём 7 раз это происходило за последнее десятилетие. В таблице 1 приводится перечень этих лет, а также сведения о продолжительности безлёдного периода.

Таблица 1. Безлёдные периоды на акватории Баренцева моря по данным с 1928 по 2021 г.

Годы без льда	Периоды без льда	Количество суток без льда
1932	с 01.09 по 30.09*	30*
1955	с 25.08 по 02.10*	39*
2005	с 20.08 по 30.09	42
2012	с 22.08 по 05.10	45
2013	с 07.08 по 16.10	71
2015	с 01.09 по 07.10	37
2016	с 03.09 по 05.10	33
2018	с 29.07 по 21.10	85
2020	с 12.08 по 22.10	72
2021	с 01.09 по 30.10	60

Примечание: * – предположительно

Используемые материалы

В настоящем исследовании использовались данные среднемесячной ледовитости каждого из трёх районов Баренцева моря с 1928 по 2021 гг., а также средние за ледовый сезон (с

октября по сентябрь) температуры воздуха по данным полярной станции (п/ст) Баренцбург (архипелаг Шпицберген) и обсерватории им. Кренкеля на о. Хейса (архипелаг Земля Франца-Иосифа) за период с 1928 по 2021 гг. и с 1957 по 2021 гг. соответственно. Период с октября предыдущего года по сентябрь последующего рассматривался в качестве ледового сезона, т.е. периода существования льда, как в Западном районе Баренцева моря, так и в его Северо-восточном районе, в течение годового цикла. П/ст Баренцбург является репрезентативной для центральной и северной части Западного района Баренцева моря, а обсерватория им. Кренкеля на о. Хейса — для центральной и северной части Северо-восточного района моря.

Кроме того, рассматривались и анализировались средние за месяц приземные барические карты, охватывающие всё Баренцево море, материковую часть суши до 55-й параллели, а также весь Центральный Арктический Бассейн за период с 1997 по 2021 гг.

За эту же четверть века были проанализированы ежемесячные детализированные ледовые карты Баренцева моря за начало мая, т.е. до наступления периода активного таяния ледяного покрова, построенные в ААНИИ по данным спутниковых снимков.

Анализ используемых материалов и его результаты

В ходе настоящего исследования анализировались:

- направления воздушных потоков в июле и августе, т.е. в месяцы, предшествующие полному очищению акватории Баренцева моря ото льдов в годы, когда оно происходило;
- направления, откуда наиболее выражено происходило очищение Баренцева моря в годы, когда оно

полностью освобождалось от ледяного покрова (с запада на восток, с юга на север, с востока на запад);

- средние за ледовый сезон (с октября предыдущего года по сентябрь последующего) температуры воздуха характерные для Западного района Баренцева моря по данным п/ст Баренцбург (архипелаг Шпицберген) за весь ряд наблюдений (с 1928 по 2021 гг.) и средние за ледовый сезон температуры воздуха характерные для Северо-восточного района Баренцева моря по данным обсерватории им. Кренкеля на о. Хейса (архипелаг ЗФИ) также за весь ряд наблюдений (с 1957 по 2021 гг.);

- возрастные градации дрейфующего льда преобладающие на всей акватории Баренцева моря в мае, то есть к началу периода активного таяния и разрушения ледяного покрова, а также наличие или отсутствие более толстого льда по сравнению с преобладающим за период с 1998 по 2021 гг. по данным региональных ледовых карт, построенных в ААНИИ по снимкам ИСЗ.

В результате анализа установлено, что:

- направления воздушных потоков в июле и августе, то есть в месяцы предшествующие полному очищению акватории Баренцева моря ото льдов, значимы, как фактор, способствующий полному очищению моря ото льдов только в случае однонаправленных, продолжительных (до 24 дней в месяце) и достаточно сильных воздушных переносов западной четверти, способствующих мощному затоку более тёплых Атлантических вод в Западный район Баренцева моря, как было в 2016 и 2018 гг., воздушных переносов восточной четверти, как случилось в 2021 г., и южных воздушных переносов, которые преобладали над акваторией моря в 2005 г.;

- наиболее значимым фактором, определяющим участвовавшие за последнее десятилетие случаи полного очищения Баренцева моря ото льдов, является аномально высокий фон температуры воздуха, как в среднем за ледовый

сезон, так и среднемесячных температур на протяжении всего года за период с 2012 по 2021 гг. по данным п/ст Баренцбург и обсерватории им. Кренкеля на о. Хейса, достоверно характеризующих температурный фон на акватории Западного и Северо-восточного района Баренцева моря. Статистически температуры воздуха на этих станциях анализировались методом типизации, критерии которого приведены в таблице 2. Температура воздуха в Западном районе Баренцева моря за последнее десятилетие повысилась на 2,8°C, а в Северо-восточном районе моря на 4,5°C.

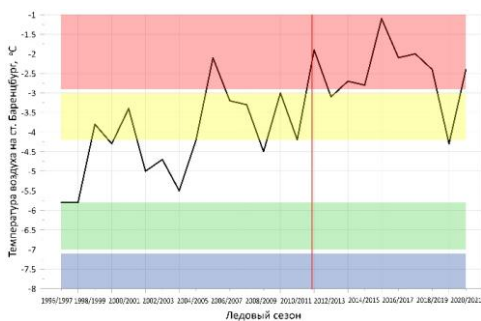
Таблица 2. Критерии типизации средних за ледовый сезон температур воздуха по данным п/ст Баренцбург с 1928 по 2021 гг. и обсерватории им. Кренкеля на о. Хейса с 1957 по 2021 гг.

Группа	Характеристика группы	Критерии группы			Цвет на рисунке 2
		в долях б	в значениях T_a (п/ст Баренцбург), °C	в значениях T_a (обсерватория на о. Хейса), °C	
1	Аномально холодный ледовый сезон	$\leq -1,2$ б	$\leq -7,1$	$\leq -15,1$	Синий
2	Холодный ледовый сезон	от -0,4 б до -1,2 б	от -5,8 по -7,0	от -15,0 по -13,4	Зелёный
3	Близкий к	\pm	от -5,7 по	от -13,3 по	Без

	среднему ледовый сезон	0,4 б	- 4,3	-11,4	цвета
4	Тёплый ледовый сезон	от 0,4 б до 1,2 б	от - 4,2 по - 3,0	от -11,3 по -9,7	Жёлт ый
5	Аномально тёплый ледовый сезон	\geq 1,2 б	\geq - 3,0	\geq -9,6	Красн ый

Ход средних за сезон температур воздуха по этим станциям за последние 25 лет представлен на рисунке 2.

Рис. 2. Ход средних за ледовый сезон температур воздуха за



последние 25 лет по п/ст Баренцбург (слева) и по обсерватории им. Кренкеля на о. Хейса (справа) на фоне выделенных в результате типизации групп

- с 2000 по 2011 гг. однолетний толстый лёд (толщиной 120–200 см и более) отмечался в начале мая (периоде достижения ледяным покровом своего максимального развития в северной части Баренцева моря) ежегодно, в основном к югу от архипелага ЗФИ и лишь дважды (в 2013 и 2014 гг.) за последнее десятилетие. Начиная с 2015 г. по текущий год в Западном и Северо-восточном районе Баренцева моря в начале мая преобладал тонкий однолетний лёд (толщиной 30–70 см) и однолетний лёд средней толщины (толщиной 70–120 см), а однолетний толстый лёд отсутствовал вовсе даже в виде небольших ледовых зон.

Выводы

1. Температура воздуха в центральной и северной части Баренцева моря повысилась за последнее десятилетие в среднем на 3,6°C. Столь значительное и устойчиво сохраняющееся в течение последних 10 лет повышение температуры воздуха как в Западном, так и в Северо-восточном районе моря, можно расценивать, как индикатор потепления климата в регионе.
2. Участвовавшие за последнее десятилетие случаи полного очищения Баренцева моря ото льдов есть не что иное, как следствие потепления климата в Западном районе Арктики.
3. Ещё одним значимым показателем потепления климата в Западном районе Арктики является уменьшение толщин дрейфующего льда на акватории Баренцева моря, существующего в течение ледового сезона, и полное

отсутствие однолетнего толстого льда (толщиной 120–200 см) даже в виде небольших ледовых зон на протяжении последних семи лет.

4. Такое существенное повышение температуры воздуха в Западном и Северо-восточном районе Баренцева моря за последние 10 лет является следствием изменившихся траекторий движения циклонов северной Атлантики на более низкоширотные, по сравнению с нормой, благодаря чему увеличилась продолжительность и частота адвекции тёплых воздушных масс в Западный район Арктики, что повлияло и продолжает влиять на ледовые процессы в Баренцевом море.

Литература

1. Границы океанов и морей. Управление начальника гидрографической службы ВМФ. Л., 1960, 52 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ МЕТОДОМ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

В Черное море наблюдаются субмезомасштабные вихри. Они изучались с использованием спутниковых изображений поверхности моря и методами судовых и автономных измерений. Проведено лабораторное исследование механизмов вихреобразования на шельфе. Эксперименты проводились на вращающейся платформе в бассейне заполненном жидкостью. Установлены условия вихреобразования. Полученные результаты успешно сопоставлены с данными натурных наблюдений, полученными в экспедициях, проведенных в прибрежной зоне г. Геленджика

STUDY RESULTS OF SUBMESOSCALE EDDY FORMATION MECHANISMS AT SEA SHELF BY THE LABORATORY MODELING METHOD

Elkin D.N., Zatsein A.G.

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia

Submesoscale eddies are observed in the Black Sea. They were studied using the sea surface satellite images and methods of ship and autonomous measurements. The laboratory investigation of submesoscale eddy formation mechanisms was fulfilled. The experiments were provided in a tank filled with fluid and displaced on a rotating table. The conditions of eddies formation were determined. The laboratory results were success-

fully compared with the natural observations obtained in the survey at the Black Sea coastal zone near Gelendzhik

Субмезомасштабные вихри (СМВ) – одна из распространенных, но малоисследованных форм вихревого движения вод океана. СМВ имеют радиус меньший, чем бароклинический радиус деформации Россби ($R/R_d = Rf/NH > 1$), а угловую частоту вращения – сопоставимую, или превышающую параметр Кориолиса ($Ro = \omega/f \geq 1$). Из-за сравнительно малых размеров ($R \leq 10$ км), СМВ подвержены существенному влиянию трения и довольно быстро диссипируют (их время жизни, как правило, измеряется несколькими сутками). В СМВ возникают интенсивные вертикальные потоки и связанный с ними перенос биогенов, который может оказывать влияние на биопродуктивность вод. СМВ стали обнаруживаться на периферии струйных течений и мезомасштабных вихрей с размером 100-300 км на спутниковых снимках.

В Черном море часто наблюдаются СМВ, где они изучались с использованием спутниковых изображений поверхности моря, и методами судовых и автономных измерений. В глубоководной части моря преобладают циклонические СМВ, тогда как в прибрежной зоне количество СМВ обоих знаков вращения примерно соответствует друг другу [2]. Природа образования СМВ до конца не ясна, и отличается от механизма образования мезомасштабных вихрей, связанных с бароклинической неустойчивостью течения. По-видимому, эти вихри играют важную роль в кросшельфовом водообмене и в диссипации энергии крупномасштабных течений. Существуют три возможных механизма вихреобразования [1].

Цель работы заключалась в воспроизведении и исследовании вышеперечисленных механизмов образования СМВ в лабораторном физическом эксперименте.

Первый механизм - сдвиговая неустойчивость вдольберегового течения: при северо-западном вдольбереговом течении (Основное Черноморское течение) на шельфе доминируют антициклонические вихри, а при юго-восточном направлении (антициклонические мезамасштабные вихри) на шельфе циклонические вихри. Опыты проводились в цилиндрическом бассейне с радиусом 30 или 27 см, и толщиной водного слоя 6 см, расположенном на вращающейся платформе. Период вращения платформы составлял 5 или 10 с. (параметр Кориолиса $f=2.5$ или 1.25 с^{-1} , соответственно). Для создания сдвигового течения вблизи стенки бассейна в его центральной части параллельно дну размещался диск радиусом 24 см. Диск приводился в дифференциальное вращение относительно бассейна с помощью мотора постоянного тока с регулируемой скоростью вращения. При вращении диска в направлении вращения платформы над ним формировалось циклоническое течение, а вблизи стенки – область горизонтального антициклонического сдвига скорости. При вращении диска в направлении противоположном вращению платформы над ним формировалось антициклоническое течение, а вблизи стенки – область горизонтального циклонического сдвига. Частота вращения диска от опыта к опыту изменялась в достаточно широких пределах, для того, чтобы исследовать закономерности вихреобразования не только в зависимости от знака, но и от величины сдвига скорости. В опытах вихри образовывались в зазоре между стенкой и концом диска. Они образовывали цепочку и располагались примерно на одина-

ковом расстоянии друг от друга, и двигались вдоль стенки бассейна в направлении вращения диска, но со скоростью меньшей, чем линейная скорость вращения его края (Рис. 1а).

Второй механизм – периодическое образование вихрей за мысами вследствие отрыва потока, при наличии интенсивного прибрежного течения. Опыты проводились в том же цилиндрическом бассейне, где эксперименты со сдвиговой неустойчивостью. Бассейн был заполнен однородной жидкостью, толщиной около 5 см. К стенке бассейна приделали препятствие в виде мыса с крутым обводом, и толщиной 5 см. В начале каждого эксперимента, жидкость в бассейне раскручивали до состояния твердотельного вращения. Для создания течения, частоту вращения платформы Ω_1 уменьшали до Ω_2 . В результате сформировалось циклоническое течение со скоростью $V_{max}=(\Omega_1-\Omega_2)R_0$. Это течение затухало со временем за счет трения жидкости об дно, а времени было достаточно, чтобы наблюдать периодическое вихреобразование.

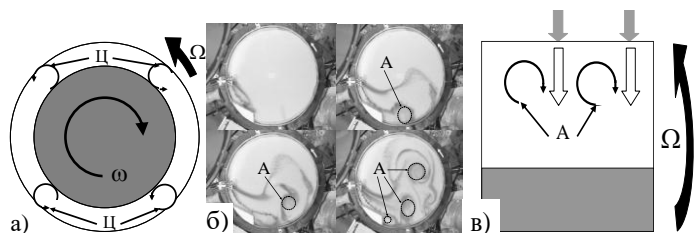


Рис. 1 а) Схема лабораторной установки по исследованию в сдвиговой неустойчивости. (вид сверху); б) Кадры из эксперимента по образованию за препятствием; в) Схема лабораторной установки по исследованию

вследствие пространственно-неоднородного ветрового воздействия. Д
ри; Ц – Циклонические вихри

Третий механизм - пространственно-неоднородное ветровое воздействие. Прибрежная зона Черного моря окружена холмами или горными массивами, в которых имеются долины. Ветер, направленный с берега на море в долинах более сильный и, распространяется над морем в виде воздушных струй, проникающих на значительное расстояние от берега (10 км и более). Наличие долинных ветровых струй, разделяемых областями с более слабыми ветрами, приводит к возникновению вихрей в прибрежной зоне моря. Опыты проводились в цилиндрическом бассейне диаметром 60 см и высотой 8 см, заполненном водой и расположенном на вращающейся платформе. Использовалась как однородная по плотности вода, так и двухслойная по солености и плотности. Для создания стратификации в бассейн изначально наливался слой воды толщиной 5 см с соленостью 20 ‰. Затем, когда нижний слой был раскручен до состояния твердотельного вращения с угловой частотой Ω , поверх этого слоя из дополнительного источника, аккуратно заливался слой пресной воды толщиной 2 см. Это позволяло минимизировать перемешивание между слоями. Возле стенки бассейна по кругу располагались четыре воздуходувки, три из которых располагались под углом к радиусу бассейна и использовались для генерации прибрежного кольцевого течения. Четвертая воздуходувка была направлена по радиусу к центру бассейна и использовалась для создания нормальной к берегу воздушной струи. Для того, чтобы рассчитать критическое расстоя-

ние между потоками ветра провели следующую серию опытов. Опыты проводились в квадратном бассейне шириной 70 см с той же высотой. В этой серии опытов нормально к одной из стенок бассейна устанавливались 2 воздуходувки на расстоянии L друг от друга, которое изменялось от опыта к опыту ($L = 20, 30$ и 40 см). Для того, чтобы уменьшить влияние противоположной стенки на результаты опытов, приблизительно треть поверхности воды вблизи нее закрывалась пластинкой оргстекла. Для сравнения с результатами предыдущей серии, некоторые опыты проводились с одной воздуходувкой расположенной посередине задней стенки. Опыты проводились без вращения платформы, и с вращением платформы с периодами 15, 10 или 5 с (параметр Кориолиса $f=2\Omega=0,8, 1,25$ или 2.5 с^{-1} соответственно). Скорость ветра v на расстоянии 5 см от сопла менялась в диапазоне от 2 до 8 м/с. При этом на расстоянии 15 см от сопла менялась от 1 до 5 м/с. При этом скорость индуцированного ветром течения U менялась в диапазоне от 2 до 10 см/с.

Результаты экспериментов по исследованию вихреобразования вследствие сдвиговой неустойчивости. В опытах где вдольбереговое течение было циклоническим, а сдвиг скорости между берегом и стрежнем течения – антициклоническим, антициклонические пристеночные вихри формировались только при относительно небольших значениях сдвига скорости течения, когда $0.5 < Ro_s < 1.5$, где $Ro_s = \omega R_l / fd$ – число Россби, $d = R_l - R_0$ – ширина зазора между диском и стенкой бассейна. При больших значениях сдвига скорости, когда $Ro_s > 1.5$ течение в зазоре между краем диска и стенкой бассейна было хаотически турбулентным, когерентных вихревых структур не наблюдалось. В опытах, где течение было

антициклоническим, а сдвиг – циклоническим, пристеночные вихри формировались при значениях сдвига скорости $-5 < Ro_s < 0.5$. Результат соответствует с результатами теоретического анализа сдвиговой неустойчивости во вращающейся жидкости. При $Ro_s < -5$ течение в зазоре между краем диска и стенкой бассейна было турбулентным (Рис. 2а). С увеличением числа Россби, количество вихрей уменьшается, а размер увеличивается. Цепочки циклонических вихрей в прибрежной области мезомасштабных антициклонических вихрей в северо-восточной части Черного моря неоднократно наблюдались на спутниковых снимках (Рис. 2б). Антициклонические вихри в результате сдвиговой неустойчивости образовывались значительно реже [1,2].

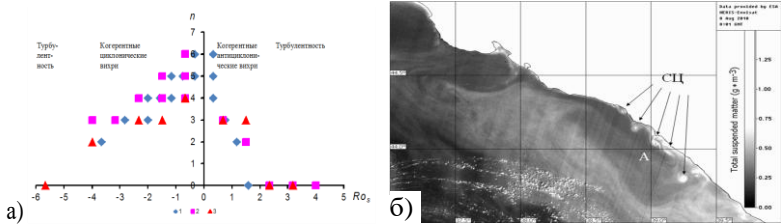


Рис. 2. а) Диаграмма режимов вдольберегового течения в зависимости от значения Ro_s для циклонического, так и для антициклонического сдвига скорости. $1 - f = 2.5 \text{ c}^{-1}$, $d = 6 \text{ см}$; $2 - f = 2.5 \text{ c}^{-1}$, $d = 6 \text{ см}$; $3 - f = 2.5 \text{ c}^{-1}$, $d = 3 \text{ см}$. По оси ординат отложено число n – количество вихрей. б) Суб-мезомасштабные циклоны (СЦ) на периферии мезомасштабного антициклона (А) в северо-восточной части Черного моря (спутниковый снимок MERIS-Envisat, 2010 г., концентрация взвешенного вещества).

Результаты экспериментов по исследованию вихреобразования за препятствием. Антициклонические вихри периодически формировались за препятствием только в случае затухающего циклонического течения. После формирования вихрь двигался вниз по течению, и направлялся в центр бассейна, и на месте его образования формировался новый вихрь [1]. В течении времени затухания формировались 3-4 вихря (Рис. 1б). Безразмерная частота вихреобразования – число Струхалия, $St=D/VT$ (D – толщина препятствия, V – значение прибрежной скорости течения, T – период вихреобразования) (Рис. 3а). Периодическое образование антициклонических вихрей также наблюдалось на спутниковых снимках (Рис. 3б) [1,2].

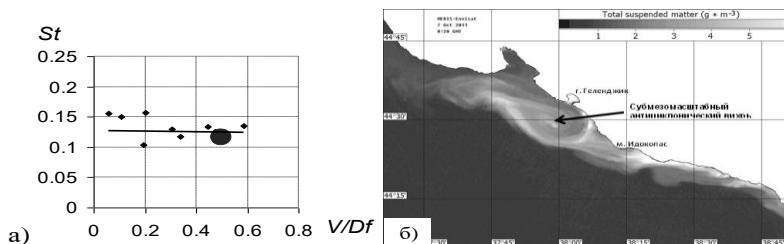


Рис. 3. а) Зависимость безразмерной частоты вихреобразования (число Струхалия) за препятствием в случае затухания циклонического вдольберегового течения от V/Df : кружок - наблюдения в Черном море; точки - лабораторные эксперименты; линия - линия тренда. б) Субмезомасштабный антициклонический вихрь за мысом Идокопас 07.10.2011, 07:52. Спутниковый снимок MERIS-Envisat, концентрация взвешенного вещества

Результаты экспериментов по исследованию вихреобразования вследствие пространственно-неоднородного ветрового воздействия. В отсутствие вращения платформы, воздействие одиночной воздушной струи на изначально покоящуюся жидкость приводило к формированию симметричной дипольной вихревой структуры в водной среде. При наличии вращения платформы воздушная струя также порождала в жидкости между ними дипольную вихревую структуру. Но эта структура была асимметричной: в области с антициклонической завихренностью формировался компактный антициклонический вихрь. При значении $U/f < 0.3R$, ядро вихря имело радиус $R_e = U/f$, где R – радиус бассейна. При значении $U/f > 0.3R$, $R_e = 0.3R$. В циклонической части диполя компактных вихрей не наблюдалось. При наличии интенсивного прибрежного кольцевого течения во вращающейся жидкости, воздействие воздушной струи не сопровождалось вихреобразованием, а при угасании этого течения длительное воздействие воздушной струи все же приводило к формированию дипольной вихревой структуры с компактным антициклоническим вихрем таким же, как и без прибрежного течения. В экспериментах с двухслойной жидкостью (с вращением или без вращения) наблюдались те же течения, какие в экспериментах с однородной жидкостью, но в однородной жидкости течения быстро затухали, а в двухслойной жидкости значительно дольше. В квадратном бассейне, при наличии двух воздуходувок, безразмерный параметр расстояния между воздуходувками Lf/U варьировался в диапазоне от 1 до 100. Продолжительные воздушные струи (> 1 лаб. суток) направленные с берега на воду, во вращающейся жидкости, вследствие конвергенции экмановского переноса, порождают компактный антициклон справа от себя. При этом компактный

циклонический вихрь слева от струи не образуется из-за экмановской дивергенции (Рис. 1в). При наличии двух соседствующих струй они перестают влиять друг на друга когда расстояние между ними $L > 0.1U/f$. При меньших значениях L вихрей между струями не образуется: циклон и антициклон «уничтожают» друг – друга [1]. Применительно к Черному морю расстояние между струями не должно быть меньше 15-30 км для свободного образования антициклонов. Образование антициклонических вихрей в результате пространственного неоднородного ветрового воздействия также наблюдалось на спутниковых снимках [1,2].

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы №0128-2021-0002

Литература.

1. *Елкин Д.Н., Зацепин А.Г.* Лабораторное исследование механизма формирования субмезомасштабных вихрей // Процессы в геосредах 2015. № 4. с. 20-27.

2. *Zatsepin A.G., Kubryakov A.A., Aleskerova A.A., Elkin D.N., Kukleva O.N.* Physical mechanisms of submesoscale eddies generation: evidences from laboratory modeling and satellite data in the Black Sea // Ocean dynamics. 2019 V. 69. No 2. p. 253-266.

ПРОГНОЗ РОСТА ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ПРОСТОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Д.Г. Замолодчиков¹, А.В. Иванов²

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов
РАН, Москва, Россия

² Приморская государственная сельскохозяйственная академия,
Уссурийск, Россия

Предложена простая модель динамики глобальной температуры, комбинирующая логарифмический эффект роста концентрации диоксида углерода и вклад климатических циклов. С использованием сценариев изменения концентрации диоксида углерода, предложенных в 5-м оценочном докладе МГЭИК, построен прогноз изменения среднегодовой глобальной температуры в XXI веке. Траектории роста глобальной температуры из 5-го оценочного доклада МГЭИК на 0.9-1.8 °C выше, чем найденные по статистической модели.

FORECASTING THE GLOBAL TEMPERATURE INCREASE BY MEANS OF A SIMPLE STATISTICAL MODEL

D.G. Zamolodchikov¹, A.V. Ivanov²

¹ Center for Ecology and Productivity of Forests, Moscow, Russia

² Primorskaya State Agricultural Academy, Ussuriisk, Russia

A simple model of the dynamics of global temperature is proposed, combining the effect of the growth of carbon dioxide and climatic cycles. Using the forecast of the use of carbon dioxide proposed in the 5th Assessment Report of the IPCC, a projection of the average global temperature in the 21st century is constructed. The global temperature trajectories from the IPCC 5th Assessment Report are 0.9–1.8 °C higher than those found from the statistical model.

Введение

Проблема глобального изменения климата и история международных усилий, направленных на противодействие этому процессу, являются хорошим примером того, как меняется отношение к модельным результатам и в какой степени они влияют на принятие решений. Пятый оценочный доклад МГЭИК, вышедший в 2013 г. [1], использует набор сценариев выбросов (RPC2.6, RPC4.5, RPC6, RPC8.5) и мультимодельный ансамбль CMIP5 для прогнозных расчетов. Оценки роста глобальной температуры формируются путем усреднения результатов отдельных моделей, различия этих результатов используются для расчета меры неопределенности прогноза. Парижское климатическое соглашение, принятое в декабре 2015 г., в качестве цели по смягчению изменений климата целей ставит удержание средней глобальной температуры ниже 2 °С от доиндустриального уровня. Национальные вклады по сокращению выбросов парниковых газов были заявлены странами заранее, зафиксированы и проанализированы органами РКИК ООН. Установлено, что объявленные национальные вклады недостаточны для удержания потепление в пределах 2 °С. Эти вполне конкретные и официальные заявления были сделаны при активном использовании прогнозных результатов 5-го оценочного доклада МГЭИК.

При всей детальности и масштабности оценочных докладов МГЭИК, формируемых на основе публикаций в рецензируемых журналах, в научном сообществе до сих пор встречаются альтернативные точки зрения на причины и будущее развитие глобального потепления. Эти точки зрения достаточно разнообразны, наиболее популярная из них объясняет современное потепление наличием климатических циклов различной периодичности (1800, 200, 60-70 лет), наложение восходящих ветвей которых привело к росту температуры в XX веке [2, 3].

Описание исходных данных и модели

При исходной формулировке и идентификации модели [4-6] были использованы данные по аномалиям глобальной температуры за 1850–2010 гг. Центра анализа информации по диоксиду углерода (Оак Ридж, США) [7], исторические сведения по динамике атмосферной концентрации CO_2 за 1850–1958 гг. [8] и данные мониторинга атмосферной концентрации CO_2 по станции Мауна-Лоа [9] Национального управления океанических и атмосферных исследований (Боулдер, США). Исходные величины температурных аномалий (в сравнении с климатической нормой 1961-1990 г.) были пересчитаны в значения среднегодовой температуры.

Рассмотрение динамики глобальной температуры приземного слоя воздуха за 1850–2014 гг. (рис. 1) позволяет выделить ряд специфических черт. Во-первых, это ярко выраженная в 1910–2005 гг. тенденция к росту температуры. Именно эта тенденция и послужила основой для формирования традиционной концепции антропогенного потепления. Второй особенностью динамики является локальный максимум температуры, пришедшийся на 1940-е годы. Можно также отметить менее выраженные максимумы в 1880-х и, вероятно, в первой половине 2000-х годов. Наличие этих трёх максимумов интерпретируется как проявление 60–70-летних климатических циклов [3]. Третья особенность, проявляющаяся на линии 5-летнего скользящего среднего цикла, состоит в фиксации локальных максимумов температуры с периодичностью, варьирующей от 8 до 19 лет.



Рис. 1. Динамика средней глобальной температуры за 1850-2014 гг. [по 7].

Предложим уравнение, которое способно воспроизвести отмеченные особенности динамики глобальной температуры. При этом учтём, что зависимость температуры от концентрации CO_2 является логарифмической [10]. С учётом данного факта для описания динамики глобальной температуры можно предложить следующее уравнение:

$$T = a + b \ln(\text{CO}_2) + c_1 \sin(c_2 + c_3 Y) + d_1 \sin(d_2 + d_3 Y), \quad (1)$$

где T – средняя глобальная температура, $^{\circ}\text{C}$; CO_2 – концентрация углекислого газа в атмосфере, ppm; Y – порядковый номер года по нашей эре; $a, b, c_1, c_2, c_3, d_1, d_2, d_3$ – параметры. Все параметры имеют чёткую физическую интерпретацию: a – средняя глобальная температура без учёта парникового влияния углекислого газа, $^{\circ}\text{C}$; b – парниковый эффект натурального логарифма концентрации углекислого газа, $^{\circ}\text{C ppm}^{-1}$; c_1 и d_1 – полуразмах колебаний двух циклических процессов, $^{\circ}\text{C}$; c_2 и d_2 – сдвиг фазы цикла относительно начала номера стартового года; c_3 и d_3 – характеристики периода

циклов (выраженный в годах период равен отношению 2π к c_3 или d_3).

При нахождении численных значений параметров уравнения (1) в состав независимых переменных были включены номер года по нашей эре и значения концентрации CO_2 из источников [7, 8]. Оценку параметров уравнения (1) проводили методом минимальных квадратов в пакете Statistica 6.1 (Stat Soft Inc., USA). Процедуры нелинейной оценки при сложных формах анализируемых уравнений и высокой дисперсии исходных данных могут приводить к обнаружению нескольких локальных минимумов остаточной дисперсии. Для нахождения уравнения с наименьшей величиной остаточной дисперсии проводили вычисления с разными наборами стартовых значений параметров. В окончательную форму включали лишь те параметры, уровень значимости которых соответствовал $P \leq 0.05$. Итоговое уравнение (2) имеет следующий вид:

$$T = -2.46 + 2.82 \ln(\text{CO}_2) - 0.101 \sin(15.7 + 0.0914 Y) + 0.0247 \sin(0.600 Y), \quad (2)$$
$$R^2 = 0.866, P < 0.01, n = 161.$$

Уравнение (2) описывает 86.6% дисперсии исходных данных для интервала 1850-2010 гг, что следует признать хорошим показателем для регрессионных зависимостей, найденных по натурным материалам. Регрессия в целом и все параметры уравнения (2) статистически значимы для $P \leq 0.02$. Параметр фазы у 10.5-летнего цикла был отброшен в связи со статистической незначимостью ($P = 0.19$).

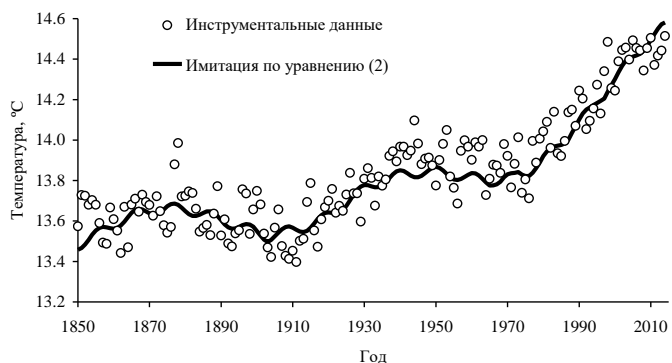


Рис. 2. Динамика средней глобальной температуры за 1850-2014 гг. и ее имитация уравнением (2).

Уравнение (2) воспроизводит все отмеченные выше особенности динамики глобальной температуры (рис. 2): тренд к увеличению, циклы периодичностью 10.5 лет и 68.8 года. Подчеркнём, что параметры цикличности устанавливаются в процессе регрессионного анализа, то есть выявленные циклы описывают максимальные доли вариации исходных данных по сравнению с процессами другой периодичности, которые потенциально могут быть вовлечены в динамику глобальной температуры

Прогноз динамики глобальной температуры

Уравнение (2) позволяет осуществить прогноз динамики глобальной температуры в XXI веке. Для такого прогноза необходимо иметь сценарий изменения атмосферной концентрации CO_2 , которая, в свою очередь, зависит от будущей динамики антропогенных эмиссий и компенсирующих реакций природной среды. Используем траектории концентраций CO_2 из 5-го оценочного доклада МГЭИК [11] и порядковые номера лет и проведем расчет глобальной температуры по уравнению (2) для 2010-2100 гг. с шагом в 1 год (рис. 3). При

реализации наиболее жесткого сценария RCP8.5 средняя глобальная температура достигнет 16.8 °С. Иначе говоря, потепление за 2010-2100 гг. составит 2.4 °С. Для сценариев RCP6.0 и RCP4.5 рост температуры за 90 лет равен 1.4 и 0.8 °С соответственно. Сценарий RCP2.6 приводит к росту глобальной температуры всего на 0.1 °С.

Согласно прогнозу по ансамблю моделей CMIP5, глобальная температура достигнет 15.6 °С в 2042 г. при реализации сценария RCP8.5, в 2056 г. при RCP4.5, в 2062 г. при RCP6.0. Только лишь сценарий RCP2.6 оказывается соответствующим цели Парижского соглашения. Если опираться на прогноз по уравнению (2), то превышение границы 2 °С произойдет в 2061 г. при RCP8.5 и в 2075 г. при RCP6.0. Сценарии RCP4.5 и RCP2.6 будут соответствовать целям Парижского соглашения. Это означает, что человечеству надо приложить значительно меньшие усилия по сокращению выбросов парниковых газов и в более длительные сроки.

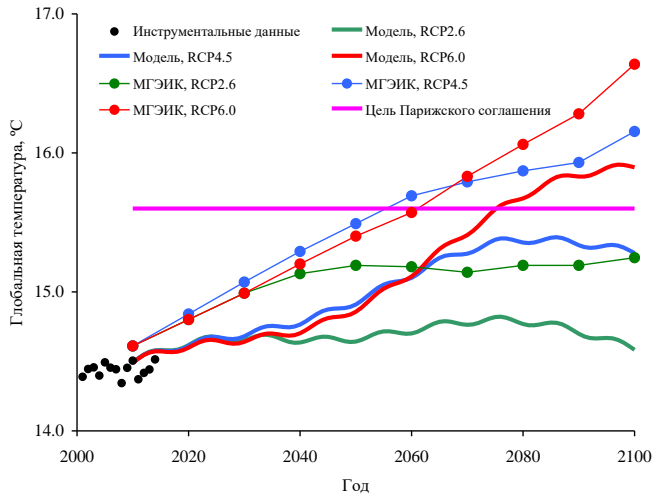


Рис. 3. Прогноз средней глобальной температуры на 2010-2100 гг. по уравнению (2) и согласно 5-му оценочному докладу МГЭИК.

Литература

1. Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа, резюме для политиков, техническое резюме и часто задаваемые вопросы / Ред. Т. Ф. Стокер и др. – МГЭИК, 2013.
2. Абдусаматов Х.И., Лаповок Е.В., Ханков С.И. Тенденции и динамика нелинейных климатических изменений под действием долговременных вариаций солнечной постоянной и альбедо Бонда Земли // Вестник Международной академии холода. 2015. № 3. – С. 79-82.
3. Гудкович З. М., Карклин В. П., Смоляницкий В. М., Фролов И. Е. Что происходит с климатом Земли? // Экологический вестник России. 2012. № 5. – С. 34–41.
4. Замолодчиков Д. Г. Естественная и антропогенная концепции современного потепления климата // Вестник Российской академии наук. 2013. Т. 83. № 3. – С. 227-235.
5. Замолодчиков Д. Г. Естественная и антропогенная компоненты современных изменений глобальной температуры // Доклады Академии наук. 2014. Т 456. № 3. – С. 351-354.
6. Замолодчиков Д.Г. Прогноз роста глобальной температуры в XXI веке на основе простой статистической модели // Компьютерные исследования и моделирование. 2016. Т. 8. № 2. – С. 379-390.
7. Jones P. D., Parker D. E., Osborn T. J., Briffa K. R. Global and hemispheric temperature anomalies – land and marine instrumental records // Trends: A Compendium of Data on Global Change. – Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2016. <http://cdiac.ornl.gov/trends/temp/jonescru/jones.html> (дата обращения 19.11.2021).
8. Brown L. R. Full Planet, Empty Plates: The New Geopolitics of Food Scarcity. Supporting data. – Washington: Earth Policy Institute, 2012. http://www.earth-policy.org/books/fpep/fpep_data (дата обращения 19.11.2021).

9. Tans P., Keeling R. Trends in atmospheric carbon dioxide. – Boulder: Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division, NOAA, 2021. http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/co2_data_mlo.html (дата обращения 19.11.2021).

10. Archer D. Global warming: Understanding the forecast, 2nd Edition. – Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2011. – 228 p.

11. Meinshausen M., Smith S. J., Calvin K., Daniel J. S., Kainuma M. L. T., Lamarque J-F., Matsumoto K., Montzka S. A., Raper S. C. B., Riahi K., Thomson A., Velders G. J. M., van Vuuren D. P. P. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300 // Climatic Change. 2011. V. 109. – P. 213–241.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ, ЕЕ СВЯЗЬ С ТЕРМОХАЛИННЫМИ АНОМАЛИЯМИ И ФРОНТАМИ И ВЕРТИКАЛЬНЫМ ТУРБУЛЕНТНЫМ ОБМЕНОМ

Зацепин А.Г. д.ф.-м.н., Подымов О.И. к.г.н.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва,
Россия

По данным CTD-зондирований на станциях судовых разрезов выявлены мезомасштабные термохалинные аномалии в верхнем 200-м слое Черного моря. Эти аномалии являются источниками тонкой структуры (ТС) инверсионного типа, а вертикальный сдвиг скорости течения и вызванное им турбулентное перемешивание порождают ТС ступенчатого типа.

FINESTRUCTURE OF THE BLACK SEA WATERS, ITS RELATIONSHIP WITH THERMOKHALIN ANOMALIES AND FRONTS, AND VERTICAL TURBULENT EXCHANGE

A.G. Zatsepin Dr of Sc., O.I. Podymov Ph.D.

P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

According to CTD sounding data at the stations of R/V sections, mesoscale thermohaline anomalies were revealed in the upper 200th layer of the Black Sea. These anomalies are sources of the finestructure (FS) of the inversion type, and the vertical shear of the current velocity and the turbulent mixing caused by it generate the FS of the stepwise type.

Одним из физических явлений, распространенных в океане и атмосфере, обладающих устойчивой плотностной стратификацией, является тонкоструктурное расслоение этих сред. В океане вертикальные масштабы тонкой структуры составляют от одного до нескольких десятков метров, а горизонтальные – на несколько порядков больше [2,3]. Сама структура характеризуется либо наличием слоев с пониженными вертикальными градиентами температуры, солёности и плотности, разделенных высокоградиентными прослойками (ступенчатая структура), либо слоями с инверсиями температуры и солёности (инверсионная, или интрузионная структура) [1].

Согласно исследованиям, выполненным авторами настоящей работы, в верхнем 150–200-метровом слое Черного моря существуют термохалинные фронты, наблюдающиеся как в прибрежной зоне конвергенции, так и в центральной зоне дивергенции. Эти фронты, происхождение которых не всегда очевидно, могут являться генераторами интрузий и тонкой структуры инверсионного типа.

Основной массив обрабатываемых данных составили 44 перпендикулярных берегу гидрофизических разреза дли-

ной 70–100 миль, выполненных STD-зондом с борта НИС «Акванавт» в 1997–2009 гг. в северо-восточной части Черного моря. По этим материалам были рассчитаны и построены в поле плотности аномалии температуры и солёности. Основная масса разрезов была выполнена на траверзе Голубой Бухты г. Геленджика.

Для расчета температурных аномалий методом Акимы [5] строилась равномерная сетка, где по горизонтали был шаг в 1 морскую милю, а по вертикали – 1 м для поля глубины и 0.01 кг/м^3 для поля условной плотности. По построенной сетке считалось арифметическое среднее для всех значений температуры на отдельном горизонте (изобаре либо изопикне), после чего полученное среднее вычиталось из значений температуры на данном горизонте для каждого из профилей. Полученные в результате значения представляли собой температурные аномалии, т.е. отклонения температуры на отдельном горизонте (изобарическая аномалия) или, изопикне (изопикническая аномалия) от средней по разрезу. Были получены следующие результаты.

1. Выявлены и проанализированы мезомасштабные (20–50 км) изопикнические термохалинные аномалии в верхнем 300-м слое Черного моря. Эти аномалии и фронты, образующиеся на их границах, являются потенциальными источниками тонкой структуры вод инверсионного типа.
2. Установлено, что в диапазоне изменения условной плотности $14.5\text{--}16.5 \text{ кг/м}^3$ амплитуда температурных аномалий быстро убывает с возрастанием плотности, и ниже изопикн $16.1\text{--}16.2$ аномалии они не превышают значений $\pm 0.03 \text{ }^\circ\text{C}$. При этом вверху они достигают величин $\pm 0.7\text{--}0.9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Имеет место сезонная изменчивость амплитуды аномалий и мала ее изменчивость вдоль разрезов.

3. Сравнение амплитуд термических аномалий на изопикнах с амплитудами термических аномалий на изобарах, показало, что последние в приблизительно в 4 раза превосходят первые. Корреляционных связей между этими аномалиями не обнаружено. Однако это не означает, что изобарические термические и соленостные аномалии, образованные, в основном, смещением изолиний по вертикали, не влияют на образование термохалинных аномалий на изопикнах.
4. Показано, что тонкая структура вод на профилях температуры имеет преимущественно инверсионный характер в областях, где тангенс угла наклона изотермы к изопикне имеет по модулю достаточно большое значение (области высокой термоклинности) [4].
5. Имеется всего несколько возможных свидетельств обнаружения изопикнических аномалий температуры и тонкоструктурных инверсий температуры, обусловленных распространением Босфорских вод [6] в северо-восточной части Черного моря. Основной массив наблюдавшиеся изопикнических температурных аномалий и тонкоструктурных инверсий температуры были образованы, скорее всего, вследствие региональных физических процессов в северо-восточной части Черного моря [7].
6. В областях с выраженной бароклинностью течений (большой угол наклона изопикн к горизонтали) наблюдается тонкая структура ступенчатого типа, свидетельствующая об

интенсификации турбулентного перемешивания, обусловленного вертикальным сдвигом скорости течения.

Работа выполнена по теме госзадания 0128-2021-0002 и при поддержке гранта РФФИ №20-05-00496.

Литература

1. Журбас В.М., Озмидов Р.В. (ред.). Формы тонкой термохалинной структуры океана. Каталог // Материалы океанологических исследований. - Выпуск 1. - М.: Межведомственный геофизический комитет при Президиуме Академии Наук СССР - 1987. - 134 с.
2. Федоров К.Н. Тонкая термохалинная структура вод океана. -Л.: -Гидрометеоиздат.- 1976. -184 с.
3. Федоров К.Н. Физическая природа и структура океанических фронтов. - Л.: - Гидрометеоиздат.- 1983. - 296 с.
4. Федоров К.Н. О термохалинных характеристиках фронтов в океане // ДАН СССР. - 1988. - Т.302. - С.205-210.
5. Akima, H. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregularly distributed data points //ACM Transactions on Math. Software. - 1978. - V. 4. - P. 148-159.
6. Falina A., Sarafanov A., Ozsoy E., Turuncoglu U. Observed basin-wide propagation of Mediterranean water in the Black Sea // J. Geoph. Res.: Oceans. 2017. Vol. 122. No 4. P. 1-13. DOI: 10.1002/2017JC012729.
7. Zatsepin A.G. Podymov O.I. Thermohaline Anomalies and Fronts in the Black Sea and Their Relationship with the Vertical FineStructure//Okeanologiya. 2021. №6.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПРИЗНАКИ В
ДИНАМИКЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧЕЛОВЕКА, РЕГИСТРИРУЕМЫХ
В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ, АНТАРКТИКИ И НА
ШИРОТЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

В.В. Иванов

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН,

Санкт-Петербург, Россия

Выполнен мониторинг физиологических показателей состояния организма человека в условиях умеренных широт, Арктики и Антарктики. Обнаружен общий характер в динамике отношений биохимических и физиологических показателей. Разработан алгоритм определения пространственно-временного фактора, согласующегося с их динамикой. Проведено сопоставление пространственно-временных особенностей отношения физиологических показателей, регистрируемых в разных условиях.

SPACE-TIME SIGNS IN DYNAMIC OF HUMAN
PHYSIOLOGICAL INDICATORS RECORDED IN
CONDITIONS OF ARCTIC, ANTARCTIC AND AT
THE LATITUDE OF ST. PETERSBURG

V.V. Ivanov

Institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

The monitoring of physiological indicators of the state of human body in conditions of temperate latitudes Arctic and Antarctic was carried out. The general character in dynamic of biochemical and physiological indicators relations is found. An algorithm for determining the space-time factor consistent with their dynamic has been developed. A comparison of the space-time features of the physiological indicators relation recorded in different conditions was carried out.

Установленное наличие общего характера в динамике тиолурохромного отношения в моче человека (*ТУрО*) и отношения частоты сердечных сокращений к частоте дыхания (*ЧСС/ЧД*) в Антарктиде (2001-2002 гг.) [1], свидетельствует о том, что эти отношения представляют в организме человека две взаимосвязанные системы: тиолурохромную и сердечно-лёгочную [2].

Наличие инвариантности данных отношений, играющих важную роль в развитии фундаментальных принципов бытия [3], позволяет предположить наличие общего пространственно-временного фактора (*ПВФ*), определяющего их динамику.

В качестве первой компоненты пространственно-временного фактора принята длительность "индивидуальной минуты" (*ДИМ*), которая является характеристикой способности восприятия человеком физического времени [4].

В качестве пространственной компоненты принято расстояние (в км) пройденное Землёй с абсолютной скоростью (*V_{аз}*) за одну физическую секунду.

Применительно к средненедельным данным о $V_{аз}$ и $ДИМ$ определены средние значения кажущейся абсолютной скорости движения Земли в км за индивидуальную секунду (ис) – $V_{нк'а}$. Порядок формирования $ПВФ$ для каждой пары значений $ДИМ$ и $V_{аз}$ иллюстрирует пример: $ДИМ = 72$ с, $V_{аз} = 360$ км/с, 1 ис = 72 с/60 = 1.2 с. Подставляем в $V_{аз}$ вместо секунды – ис/1.2, получаем: $V_{нк'а} = 1.2 \times 360$ км/ис = 432 км/ис.

На рис. 1 (а, б) приведены флуктуации $TУрО$ и $ЧСС/ЧД$ (кривые 1-а, 1-б), которые хорошо согласуются с вариациями $ПВФ$ в км/ис (кривые 2-а, 2-б). Корреляция составила 0.5 и 0.57.

Исследована возможность, наряду с $ДИМ$ использовать для формирования $ПВФ$ показатель, характеризующий физическое пространство, – длину “индивидуального дециметра” ($ДИД$).

Измерения $ДИД$ проводились в условиях средних широт (СПб) в 2011 г. ежедневно (утром, в течение дня и вечером) во временном интервале от 8 до 24 часов. Это позволило охватить значительный диапазон изменения $ДИМ$ от 48 до 80 с.

Методические особенности определения $ДИД$ сводились к следующему.

Перед началом работы проводилось измерение $ДИМ$. Затем “испытуемому” предъявлялся в течение 1-2 с отрезок длиной 1 дециметр, нанесённый на чистый лист бумаги и ограниченный с двух сторон короткими (~ 2 мм) отрезками.

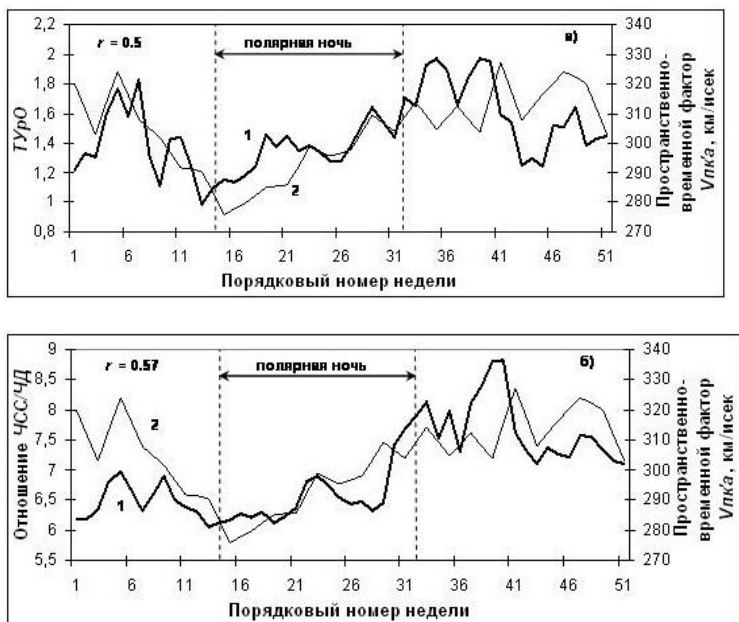


Рис. 1 Сопоставление средних за неделю флуктуаций отношений – $TУрО$ (кривая 1-а), $ЧСС/ЧД$ (кривая 1-б) и вариаций ПФФ $Vnka$ (кривые 2-а, 2-б) в км/ис за февраль 2001-январь 2002 гг.

Используя 15-20 листов чистой бумаги (размер А-4), “испытуемый” последовательно (по памяти) наносил на каждом листе отрезки длиной 1 дециметр. По окончании работы проводилось повторное измерение *ДИМ*.

После чего проводили сопоставление физического дециметра с *ДИД* на каждом листе бумаги. При сохранении постоянства *ДИМ* до и после работы данному уровню *ДИМ*

ставилось в соответствие среднее значение регистрируемых на этом интервале значений *ДИД*.

При анализе среднесуточных данных о *ДИД* и *ДИМ* на каждом месячном интервале оказалось, что связь между ними описывается полиномами третьей степени. Один из них, применительно к месяцу, где среднемесячное значение *ДИМ* составило ~ 60 с, имеет вид:

$$\text{ДИД} = -150.77 + 8.7932 \times \text{ДИМ} - 0.1619 \times \text{ДИМ}^2 + 0.001 \times \text{ДИМ}^3 \quad (1)$$

Порядок формирования нового *ПВФ* – *V_{нк}*:

1. Для каждого значения *ДИМ* находим *ДИД*, используя выражение (1).

2. Определяем отношения расчетных значений *ДИД* (в исм) к длине дециметра – 10-ти см. отождествляем исм/см с икм/км.

3. Используя *V_{аз}*, находим составляющую *ПВФ*, характеризующую кажущееся расстояние, “пройденное” Землей за одну физическую секунду: $V_{np} = V_{аз} \times \text{ДИД} / 10$ икм/с.

4. Путём перемножения двух составляющих *ПВФ* – *V_{np}* (в икм/с) и *V_{нк}* (в км/ис) и исключения из результата *V_{аз}* (в км/с), определяем новый *ПВФ* – *V_{нка}* в икм/ис.

Оказалось, что корреляция вариаций нового *ПВФ* в икм/ис и флуктуаций *ТУРО* и *ЧСС/ЧД*, приведённых на рис. 1 (кривые 1-а, 1-б), возросла с 0.5 и 0.57 до 0.56 и 0.69, соответственно.

На рис. 2 приведены полиномиальные кривые (полиномы 5-й степени) 1 и 2, которые хорошо описывают динамику среднемесячных значений *ДИД* и *ДИМ* на интервале январь-декабрь 2011 г.

Сравнение динамики *ДИД* и *ДИМ* свидетельствует о наличии взаимной ортогональности чувственно воспринимаемых пространства и времени. При этом изменение *ДИД* (кривая 1) отстаёт по фазе примерно на 1.5 месяца от изменения *ДИМ* (кривая 2).

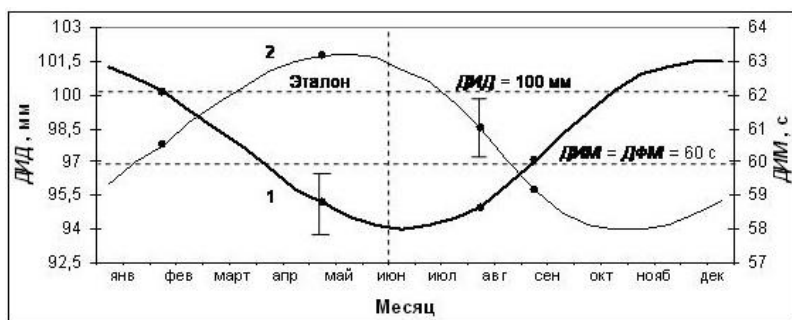


Рис. 2 Полиномиальные кривые 1 и 2 (полиномы 5-й степени), описывающие динамику среднемесячных значений *ДИД* и *ДИМ* на интервале январь-декабрь 2011 г. Вертикальные отрезки – максимальные доверительные интервалы ($ДИ95\%_{\max}$)

Использование данных о среднемесячных значениях *ДИД*, *ДИМ* и *ЧСС/ЧД* за 2011 г. позволило провести предварительный анализ возможной связи отношения *ЧСС/ЧД* (рис. 3, кривая 1) с пространственно-временным фактором *Vnka* (кривая 2) в икм/ис.



Рис. 3 Сопоставление полиномиальных кривых (полиномы 5-й степени), описывающих среднегомесячные значения ЧСС/ЧД (кривая 1) и ПВФ $Vnka$ в икм/ис (кривая 2)

Видно, что между кривыми – 1 (ЧСС/ЧД) и 2 ($Vnka$) имеет место, с одной стороны, подобие, с другой стороны – наличие сдвига по фазе примерно на 2.5 месяца.

Установлена возможная причина несовпадения отношения ЧСС/ЧД и $Vnka$ – влияние скорости вращения Земли (СВЗ) на динамику отношения ЧСС/ЧД. При этом влияние СВЗ на динамику ДИД и ДИМ лишь незначительно сказывается на динамике $Vnka$, не меняя фазовые отношения ПВФ и ЧСС/ЧД.

Отсюда следует, что на географической широте, где действие СВЗ на динамику ЧСС/ЧД заметно проявляется, ПВФ должен включать, как минимум, две составляющие. Первая – $Vnka$ (рис. 3, кривая 2). Вторая, действующая одновременно с первой, описывается уравнением: $Vnka(свз) = -20 + 56 \cdot \sin(\alpha)$, где свободный член и амплитуда определяют интенсивность воздействия СВЗ на ЧСС/ЧД в условиях

средних широт (СПб). Угол (α) варьирует от 0 (январь) до 360° град (декабрь).

На экваторе, где СВЗ примерно в 1.9 раза больше, чем на широте СПб, и в 5 раз – чем на ант. ст. Восток, их значения (по амплитуде) могут быть выше, а на полюсах – тождественны нулю.

Среднемесячные флуктуации ЧСС/ЧД и вариации пространственно-временного фактора $V_{nk}'a$ в км/ис, регистрируемые до- во время и после зимовки на пол. ст Колба (о. Диксон) с ноября 1994 г. по апрель 1995 г. приведены на рис. 4 (кривые 1, 2).

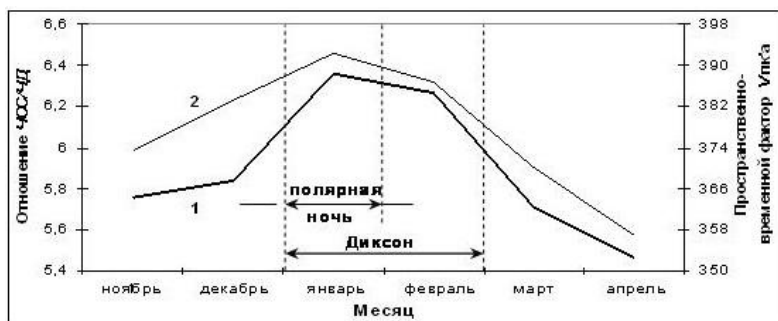


Рис. 4 Сопоставление среднемесячных флуктуаций ЧСС/ЧД (кривая 1) и вариаций пространственно-временного фактора $V_{nk}'a$ (кривая 2) в км/ис, регистрируемых до- во время и после зимовки с 21.09.1994 г. по 30.04.1995 г.

Видно, что динамика среднемесячных значений ЧСС/ЧД и $V_{nk}'a$ проявляет подобный характер. Это может быть

связано с тем, что на данной широте ($\sim 73^\circ$ с.ш.) *СВЗ* в 1.8 раза меньше, чем на широте СПб ($\sim 60^\circ$ с.ш.).

Вторым фактором, снижающим эффективность влияния *СВЗ* на динамику *ЧСС/ЧД*, является абсолютная скорость движения Земли, которая на данном интервале анализа (в конце декабря) принимает максимальное значение (~ 390 км/с), при котором эффект влияния *СВЗ* снижается.

Выводы

Введение нового психофизического теста – длины “индивидуального дециметра” открыло новые возможности для изучения природы чувственного восприятия пространства-времени, как целого.

Исследования пространственно-временной организации отношения *ЧСС/ЧД* в условиях умеренных широт (СПб) и в экстремальных условиях Антарктиды и Арктики показали:

1. Изменения *ЧСС/ЧД* происходят в условиях умеренных широт (СПб, 2011 г.) с отставанием *ПВФ* примерно на 2.5 месяца. Возможная причина “отставания” – влияние *СВЗ* на динамику *ЧСС/ЧД*. *ПВФ*, таким образом, должен включать, как минимум, две составляющие: первая обусловлена абсолютной скоростью движения Земли, вторая – скоростью её вращения вокруг оси.

2. В экстремальных условиях Антарктиды флуктуации отношения *ЧСС/ЧД* и вариации *ПВФ* изменяются синфазно. Причина – снижение в 2.8 раза (по сравнению с географической широтой СПб) *СВЗ*, когда её влияние практически не сказывается.

3. В условиях Арктики динамика ЧСС/ЧД и ПВФ имеет тот же характер, сдвига между процессами не обнаружено.

Эти факты дают основание для заключения, что пространственно-временной фактор – ПВФ (*Vnka*) является не только реальной характеристикой кажущегося восприятия пространства-времени (абсолютной скорости движения Земли в индивидуальных км за индивидуальную секунду – икм/ис), но и объективным показателем пространственно-временных изменений биохимических, физиологических и целого ряда других показателей функционирования организма человека.

Литература

1. Иванов В.В., Горшков Э.С., Соколовский В.В. О пространственно-временных признаках в динамике биохимических и физиологических показателей.//Версия доклада VI-го Международного конгресса “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине”, СПб, 2-06.07.2012 г.
www.biophys.ru/archive/congress2012/proc-p154.htm.
2. Горшков Э.С., Иванов В.В., Соколовский В.В. Редокс реакции в космобиологии. СПб.: Изд. Политехн. ун-та. 2014. 194 с.
3. Полонников Р.Н. Закон функционирования цивилизации. СПб.: Изд. РЕНОМЕ. 2008. 83 с.
4. Моисеева Н.И., Любицкий Р.Е. Воздействие гелиогеофизических факторов на организм человека (Проблемы космической биологии. Т. 53). Л.: Изд. Наука, 1986. 136 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА РЕКИ АЛИДЖАНЧАЙ (АЗЕРБАЙДЖАН)

¹Иманов Ф.А., ²Алиева И.С., ³Нуриев А.А., ⁴Нагиев З.А.

^{1,4}Научно-Исследовательский и Проектный институт «Суканал», ОАО «Азерсу», Баку, Азербайджан.

^{2,3}Бакинский Государственный Университет, Баку

Статья посвящена оценке экологического стока реки Алиджанчай, являющейся левым притоком реки Куры в Азербайджане и на которой планируется строительство водохранилища. Значения экологического стока реки определены с применением семи методов, шесть из которых относятся к гидрологическим методам. Использован также метод, основывающийся на холистическом подходе. Полученные разными методами значения экологического стока изменяются от 10 до 32,9% от среднемноголетнего стока реки.

Введение

Водные ресурсы отдельных регионов, стран и речных бассейнов оцениваются по данным о годовом речном стоке рек, который имеет две составляющие – поверхностный и подземный сток. Основная часть поверхностного стока формируется за относительно короткий период времени (во время весеннего половодья и дождевых паводков) и поэтому в условиях естественного режима реки, т.е. без регулирования, рациональное

ее использование невозможно. Подземный сток, в течение всего года участвует в питании рек. В периоды зимней и летне-осенней межени эти воды являются главным источником питания рек. Таким образом, в меженные периоды водопользование осуществляется в основном за счет подземного стока. С точки зрения эффективности использования водных ресурсов, более благоприятными считаются реки с большей долей подземного стока. По этой причине, подземный сток рек также называют «базисным стоком» [1] или же «устойчивым стоком» [2]. Суммарный подземный сток местных рек Азербайджана составляет $4,354 \text{ км}^3$ (42,2 %), а поверхностный сток $5,955 \text{ км}^3$ (57,8 %) [3]. Поверхностный сток превышает подземный сток на 15,6%.

Страны с ограниченными водными ресурсами стремятся к увеличению собственных ресурсов «устойчивого стока». В этом направлении доступным и относительно дешевым способом является построение водохранилищ. В конце XX века этим путем «устойчивый сток» всей суши увеличен на 27% [4]. В конце XX века эта цифра составила уже 34% [5].

На сегодняшний день полный объем всех водохранилищ Азербайджана составляет 22031.0 млн. м^3 . Продолжается строительство еще двух водохранилищ на трансграничной реке Аракс совместно с Ираном (Худаферинское, с полным объемом 1612 млн. м^3 и Гыз Галасы - 57 млн. м^3).

В настоящее время проектируется строительство нового водохранилища на реке Алиджанчай, с полным объемом в 115 млн. м³.

Основная задача статьи – разработка рекомендаций по определению экологического стока р. Алиджанчай ниже плотины одноименного водохранилища.

Материалы и методы исследования

В настоящей работе были использованы данные по годовому, месячному и суточному стоку гидрологического поста Каябаши, действующего в период 1958-2013 гг. Все ряды годового и месячного расходов воды удлинены по 2019 г.

Для определения экологического стока реки использованы семь методов. Эти методы, за исключением одного, относятся к числу гидрологических методов, которые являются более простыми (необходимы только гидрологические данные) и дешевыми (полевые исследования не требуются).

Экологический сток реки рассчитан также по методу, основывающийся на холистическом подходе, для применения которого, наряду стоковыми данными, требуются также данные по гидроморфологии рек, по физико-химическим параметрам речных вод, по видам придонной фауны и водопользованию. Используются и данные комплексных полевых исследований, выпол-

ненных в 2019-2020 гг.

Обсуждение результатов

Краткое описание бассейна и режима реки Алиджанчай. Река Алиджанчай является левым притоком р. Куры (рис.1). Исток реки находится на высоте 3500 м и устье - 13 м.

В бассейне реки сформировались следующие высотные ландшафтные пояса: равнинные и предгорные степи, горные леса, горные луга, субнивальный и нивальный пояс. Приустьевую часть бассейна р. Алиджанчай занимают равнинные полупустыни.

В равнинных частях бассейна реки развито орошаемое земледелие. По данным 2018 г. площадь орошаемых земель составляет 3483 га. Здесь в основном выращивают зерновые, кормовые и бахчевые культуры.

В бассейне р. Алиджанчай построено небольшое внеусловное ирригационное водохранилище (1,23 млн. м³) и имеются два ирригационных водозаборных сооружений (рис.1).

На реке в разные годы действовали четыре пункта гидрологических наблюдений (Халхал, Каябаш, Халдан и Ханабад). В настоящее время они все закрылись. Нижняя граница зоны формирования стока реки соответствует местечку Чайговушан, расположенному чуть

выше поста Каябаши. Здесь на реке планируется строительство дамбы водохранилища. Необходимые для этого проекта гидрологические расчеты были выполнены на основе данных поста Каябаши (площадь водосбора 708 км^2 и его средняя высота 990 м). В этом пункте наблюдения средний многолетний годовой расход воды реки составляет $5,50 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальный расход воды $146 \text{ м}^3/\text{с}$ (7 июня 1963 г.), а минимальный расход воды $0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ (5 сентября 1966 г.).



Рис. 1. Бассейн р. Алиджанчай

Доля подземных вод в годовом стоке реки Алиджанчай в Каябаши составляет 43% [3].

Определение экологического стока. В настоящее время в Азербайджане отсутствует нормативный документ по определению экологического стока рек. Поэтому значения экологического стока рек рассчитаны различными методами [6].

1.Метод Монтана. В настоящее время в более чем 25 странах Европы и других регионов для количественной оценки экологического стока рек широко используется метод Монтана [7]. Расчеты производятся для водохозяйственного года. Оценка экологического состояния реки этим методом выполняется согласно данным табл. 1.

Таблица 1. Оценка экологического состояния рек по методу Монтана

№	Экологическое состояние реки	Предлагаемые величины стока за октябрь-март, %	Предлагаемые величины стока за апрель-сентябрь, %
1	Максимум	200%	200%
2	Оптимально	60-100%	60-100%
3	Превосходно	40%	60%
4	Отлично	30%	50%
5	Хорошо	20%	40%

6	Удовлетворительно	10%	30%
7	Плохо или минимум	10%	10%
8	Резкая деградация	<10%	<10%

Таблица 2. Оценка экологического стока р.Алиджанчай, рассчитанная по методу Монтана

№	Экологическое состояние реки	По методу	Экологический сток		По методу	Экологический сток	
		Монтана, %	М ³ /с	млн. М ³	Монтана, %	М ³ /с	млн. М ³
		октябрь-март			апрель-сентябрь		
1	Максимум	200%	9.60	150.69	200%	12.44	196.50
2	Оптимально	60-100%	2.88	45.21-75.35	60-100%	3.73-6.22	58.95-98.28
3	Превосходно	40%	1.92	30.14	60%	3.73	58.95
4	Отлично	30%	1.44	22.60	50%	3.11	49.13
5	Хорошо	20%	0.96	15.07	40%	2.49	39.30
6	Удовлетворительно	10%	0.48	7.53	30%	1.87	29.48
7	Плохо или минимум	10%	0.48	7.53	10%	0.62	9.83
8	Резкая деградация	<10%	<0.4	<7.53	<10%	<0.6	<9.83

	дация		8			2	
--	-------	--	---	--	--	---	--

Чтобы экологическое состояние реки можно было считать удовлетворительным, необходимо с октября по март в реке оставлять 7,53 млн. м³ воды, а с апреля по сентябрь - 29,48 млн. м³. В этом случае годовой экологический сток составляет 37,0 млн.м³ (табл. 2). Таким образом, годовой экологический сток реки составляет 21,2% от среднегодового стока (174 млн. м³).

2. Метод 7Q10 - используется Службой Рыболовства и Дикой природы США, а также в штате Массачуссет. В Канаде применяется вариант 7Q20, в Великобритании вариант 7Q1. По этой методике строится аналитическая кривая обеспеченностей минимальных 7-суточных расходов воды, и по кривой определяется расход воды, который повторяется один раз в 10 лет (обеспеченность $P = 90\%$). Это значение расхода воды (7Q10) принимается равной значению экологического стока [8].

Для реки Алиджанчай (п. Каябаши) применен вариант 30Q10 метода 7Q10. Статистические параметры минимальных месячных расходов воды рассчитывались по методу моментов: $Q=3,52$ м³/с; $Cv=0,56$; $Cs=0.80$ вэ $Cs/Cv=1,4$. Для сглаживания эмпирической кривой обеспеченностей минимального стока использовано трехпараметрическое гамма-распределение Крицкого-Менкеля.

Значение минимального расхода воды 90%-ной

обеспеченности составляет $30Q_{10} = 1,26 \text{ м}^3/\text{с}$, а соответствующая этому расходу воды величина экологического стока - $39,7 \text{ млн.м}^3$ или $22,8 \%$ от среднемноголетнего годового стока реки.

3. Метод Q95%, предусматривает построение кривой продолжительности стояния суточного расхода воды [6]. По этой кривой определяется расход воды 95%-ной обеспеченности, который принимается в качестве величины экологического стока. Для анализируемой реки подобная кривая была построена с учетом наблюдаемого абсолютного минимума расхода воды (рис. 2).

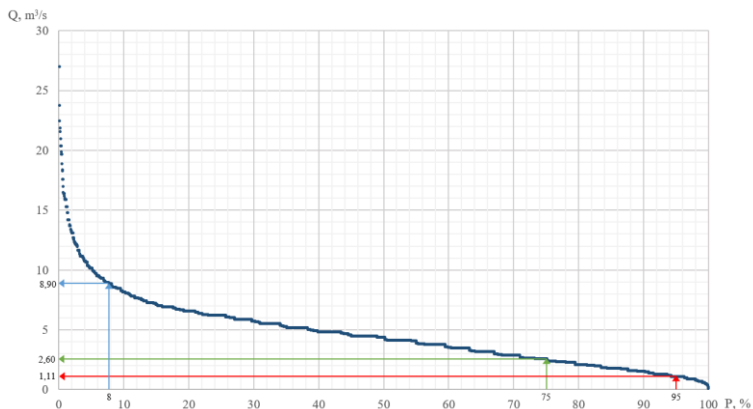


Рисунок 2. Кривая продолжительности стояния суточных расходов воды

В результате расчетов было определено, что $Q_{95\%}=1,11 \text{ м}^3/\text{с}$. Объем экологического стока составляет $35,0 \text{ млн. м}^3$ ($20,1\%$).

4.Метод Фащевского. По этому методу для определения экологического стока рек, со среднегодовым расходом воды более $1 \text{ м}^3/\text{с}$ принимается 75% от объема минимального месячного стока 95%-ной обеспеченности [9]. Установлено, что величина экологического стока р.Алиджанчай составляет $17,3 \text{ млн.м}^3$ (10%). Й

5.Метод Иманова. Данный метод относится к группе гидрологических методов и позволяет построить гидрографы экологического стока по среднемесячным расходам воды [10, 11].

Расчеты проводились в двух вариантах:

- а) Использовались среднемесячные расходы воды за все годы наблюдения;
- б) Использовались среднемесячные расходы воды только самого маловодного года.

Среднемесячные значения экологического стока, рассчитанные для обоих вариантов, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Среднемесячные значения экологического стока

Варианты	Среднемесячные значения экологического стока, $\text{м}^3/\text{с}$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1-й вариант	1,32	1,10	1,42	0,86	1,90	1,15	0,59	0,59	0,86	1,58	1,64	1,15
2-й вариант	2,38	2,30	2,58	2,86	2,19	1,15	0,59	0,88	0,95	1,90	2,18	1,79

ант (1961 г)												
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

По первому варианту объем экологического стока составляет 37,2 млн.м³ (21,5%), по второму - 57,0 млн.м³ (32,9%).

6. Гидрологический метод Кура I. Этот метод был разработан в рамках первой фазы регионального проекта Кура I, поддерживаемого ПРООН-ГЭФ. Для применения этого метода необходимы данные гидрологических наблюдений не менее 15 лет. Сначала рассчитывается среднее значение ряда минимального декадного стока, а затем определяется отношение (в процентах) этой величины к минимальному среднемесячному стоку. Полученное отношение принимается одинаково для всех календарных месяцев.

Среднемесячные значения экологического стока, рассчитанные по данному методу, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Среднемесячные значения экологического стока

Экологический сток	Среднемесячные значения экологического стока, м ³ /с											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	0,71	0,58	0,87	0,93	1,31	1,04	1,01	1,18	1,61	1,02	1,07	0,56

Согласно этому методу объем экологического стока составляет 32,4 млн.м³ (18,6%).

7. Холистический метод Кура II. Этот метод был разработан в рамках второй фазы регионального проекта Кура II, поддерживаемого ПРООН-ГЭФ. Согласно этому методу, режим экологического стока включает три экологически и социально значимых компонента речного стока:

1. Величина стока для выживания донной фауны. Она соответствует наименьшим наблюдаемым расходом воды в маловодные периоды года.

2. Величина низкого стока необходима для поддержания индикаторных видов и стадий их жизни, экологических процессов, а также важных социальных и культурных объектов. Продолжительность периода низкого стока обычно составляет от одного до шести месяцев, и обеспечивается непрерывный сток в течение года.

3. Значения максимальных расходов воды, продолжительность стояния которых составляет не менее 5 дней. Эти расходы воды предназначены для поддержания морфологии русла и экосистемы речной поймы.

В качестве составляющих экологического стока рек были приняты нижеприведенные значения суточных расходов воды:

- Объем стока, обеспечивающий жизнь донной фауны - $Q_{95\%}$ или Q_{350} ;

- Величина низкого стока - $Q_{75\%}$ или Q_{270} ;
- Максимальные расходы воды, продолжительностью стояния не менее 5 дней - $Q_{8\%}$ или Q_{30} .

Значения этих компонентов для реки Алиджанчай (п. Каябаши) составляют соответственно 1,11; 2,60 и 8,90 м³/с (рис. 2), а годовой объем экологического стока, рассчитанный с учетом этих значений - 48,2 млн.м³ (27,7%) (табл. 5) .

Таблица 5. Значения экологического стока реки, рассчитанные различными методами

№	Метод		Объем экологического стока, млн.м ³	%
1	Метод Монтана		37,0	21,2
2	Метод 7Q10		39,7	22,8
3	Метод Q95%		35,0	20,1
4	Метод Фащевского		17,3	10,0
5	Метод Иманова	По 1-ому варианту	37,2	21,5
		По 2-ому варианту	57,0	32,9
6	Метод Кура I		32,4	18,6
7	Метод Кура II		48,2	27,7

Значения экологического стока р. Алиджанчай, рассчитанные разными методами, и их отношения к среднелетнему годовому стоку приведены в табл. 5. Полученные величины экологического стока рек изменяются от 10,0 до 32,9% от среднелетнего стока. Следует отметить, что в соглашении между Россией и Азербайджаном о распределении трансграничных вод р. Самур величина экологического стока была согласована на уровне 30,5%.

Выводы

Значения экологического стока реки Алиджанчай, рассчитанные гидрологическими методами, изменяются от 10,0 до 32,9% в зависимости от среднелетнего стока. По использованному холистическому методу эта цифра составляет 27,7%. Представляется, что при выборе расчетного значения экологического стока рассматриваемой реки, предпочтение следует отдавать холистическому методу, так как в течение последних 40 лет в международной практике такой подход считается наиболее эффективным.

Список литературы

1. Виссмен У., Харбаф Т.И., Кнэпп Д.У. Введение в гидрологию. Л.: Гидрометеиздат, 1979.- 470 с.
2. Барабанова Е.А. Глобально-региональные особенности регулирования стока рек под влиянием водохранилищ (по косвенным ме-

тодам) // Вопросы географии. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2012.-С.297-311.

3. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водный баланс Азербайджанской ССР. Баку, Элм, 1978-110 с.

4. Львович М.И. Вода и жизнь: (Водные ресурсы, их преобразование и охрана). М.: Мысль, 1986.- 254с.

5. Авакян А.Б. Водохранилища – новые географические объекты XX века // Труды Академии водохозяйственных наук. 1998. Вып. 5. с.6 - 15.

6. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. European Commission Guidance Document № 31. 2015.

7. Tennant D. L. Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. - Brillings, Montana: US Fish and Wildlife, 1976. - 30 p.

8. Ozdemir A. D., Karaca O., Erkus M. K. Low flow calculation to maintain ecological balance in streams // River basin management: International Congress. - Antalya, Turkey, 2007. — Vol. 1. - P. 402–412.

9. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Мн.: Экоинвест, 1996. - 240 с.

10. Иманов Ф.А. Минимальный сток рек Кавказа. Баку, Изд-во “Нафта -пресс”, 2000.- 298 с.

11. Иманов Ф.А., Раджабов Р.Ф., Нуриев А.А. Метод определения экологического стока рек Азербайджана // Водное хозяйство России. № 5, 2017, С.90-101.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ «ПРОФИЛЯ ЛИВНЯ»

Д.Е. Клименко, к.г.н., доцент

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

Рассматриваются вопросы типизации хода осадков во времени ливней, что является ключевой характеристикой в расчете экстремальных расходов дождевых паводков малых рек. Приводится алгоритм компьютерной программы для моделирования временного хода дождя

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-05-00448

DEVELOPMENT OF THE COMPUTER PROGRAM FOR STATISTICAL SIMULATION OF THE "RAIN PROFILE"

D.E. Klimenko, Ph.D., Associate Professor

Ural Federal University named after the first President of Russia
B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

The issues of typification of the course of precipitation in the time of showers are considered, which is a key characteristic in calculating the extreme discharges of rainfall floods of small rivers. An algorithm of a computer program for modeling the time course of rain is presented.

This work was supported by the RFBR grant 20-05-00448

Введение

Расчетные характеристики экстремальных ливней (прежде всего – параметры кривых редукции, определяемые на ос-

нове анализа множества фактических графиков хода дождя за 10-минутные интервалы – «профилей ливня») являются ключевыми параметрами в расчетах максимального паводочного стока малых рек. Ход дождя во времени определяет не только формирование максимального расхода и форму гидрографа дождевого паводка, но и изменение увлажненности бассейна в период паводка, что сказывается как на начальные, так и на общие потери стока. Исследования «профиля ливня» имеют большую актуальность и практическую значимость как в инженерных изысканиях и развитии расчетных методов СП 33-101-2003, так и в моделировании паводочного стока [1]. Следует отметить, что на сегодняшний день не существует сколько-нибудь надежных методов удлинения и приведения к многолетнему периоду коротких рядов pluвиографических наблюдений, однако для расчетов статистических характеристик кривых редукции дождя необходимы профили ливня за периоды продолжительностью 30-40 лет. Компьютерное моделирование «профилей ливня» представляется оптимальным решением задачи при недостаточное продолжительности метеорологических наблюдений в расчетном пункте.

Материалы и методы

Для анализа хода дождя, разработки модели и ее алгоритмизации были собраны материалы наблюдений на pluвиографах по 192 метеостанциям в пределах Уральского УГМС за период с 1936 по 2020 гг. К анализу привлечено 150 выдающихся ливней, наблюдавшихся в данный период.

Типизация дождей может производиться по дифференциальным и интегральным признакам. Первый способ предусматривает распределение сумм осадков за относительные равные интервалы времени (в нашем случае – 10 минут). В этом случае тип дождя определяется по положению на шкале времени максимальных сумм осадков. Второй – предусматривает построение интегральной кривой хода дождя во времени в относительных единицах. Этот способ представляется

более удобным и объективным. Нарастающая сумма осадков во время дождя в подавляющем большинстве случаев (более 80%) не описывается линейной функцией. Из существующих методов типизации хода дождя во времени следует отметить работы З.П. Богомазовой и З.П. Петровой, Н.Н. Соловьевой, И.А. Шикломанова. Все методы имеют региональное значение и строгую практическую значимость [2-5].

З.П. Богомазова и З.П. Петрова, обработав большое количество записей дождей со слоем более 10 мм, выделили шесть типов хода дождей по положению максимальной ординаты относительного слоя осадков на шкале времени [2]:

I тип – максимальная интенсивность в начале дождя;

II тип – максимальная интенсивность в первой трети дождя;

III тип – максимальная интенсивность в средней части дождя;

IV тип – максимальная интенсивность в последней трети дождя;

V тип – примерно равномерный ход дождя;

VI тип – наблюдается два максимума и делится на два подтипа: VIa - максимальная интенсивность в начале и середине дождя; VIb - максимальная интенсивность в начале и конце дождя (рис. 1).

Именно эта типизация положена в основу разработки алгоритма компьютерной программы.

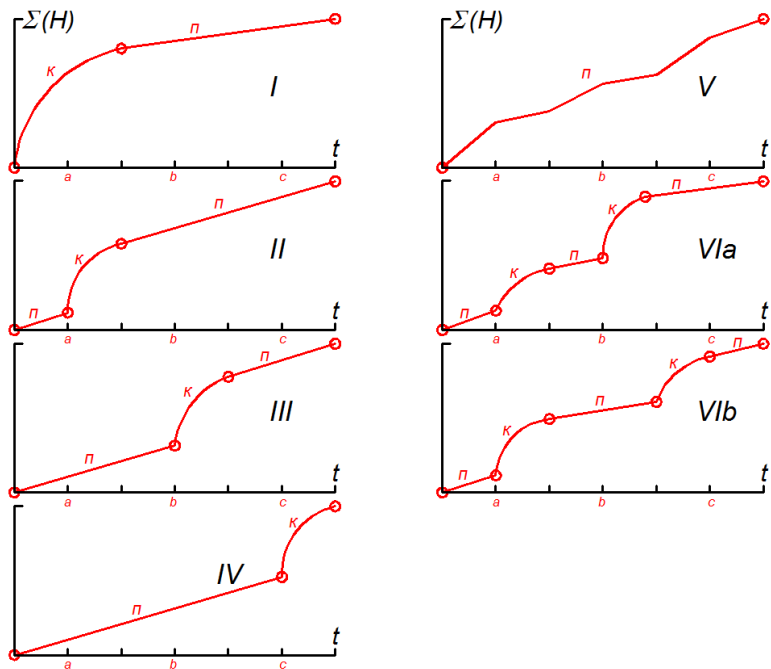


Рис. 1. Типизация дождей по виду интегральной функции нарастания общей суммы осадков с момента начала дождя (римской цифрой обозначен тип дождя в соответствии с классификацией З.П. Богомазовой и З.П. Петровой; $\Sigma(H)$ – сумма осадков в мм, t – время выпадения дождя, мин; a, b, c – относительные части дождя (33,3% общей продолжительности); k – криволинейный участок графика, описывается редукционным уравнением; $п$ – прямолинейный участок графика, описывается уравнением прямой; окружности – точки состыковки прямолинейных и криволинейных участков графика).

Разработка и алгоритмизация модели

Назначение создаваемой программы - моделирование хода дождя (сумм осадков за 10-минутки) и нарастающей суммы от начала до конца дождя.

Входные данные:

А) начальные условия: в начале моделирования задается предельная интенсивность дождя по району (S_0 , мм/мин), коэффициент редукции дождя (n), средняя продолжительность дождя по району (мин). Ранее в исследованиях эти параметры были картографированы [6];

Б) блок входных значений: 1. Порядковый номер дождя; 2. Общая сумма осадков за дождь, мм; 3. Продолжительность дождя, мин; 4. Максимальная интенсивность, мм/мин. В алгоритме предусмотрена возможность автоматического заполнения этих значений путем использования генератора случайных чисел (вероятностей события) и соответствующих этим вероятностям квантилей, распределенных по лог-нормальному закону (выбор закона распределения описан в [7]);

В) выбор процентного соотношения типов дождя на территории района.

На основе входных данных типы ливня распределяются между всем количеством входных данных в случайном порядке, но с соблюдением указанных процентных отношений встречаемости того или иного типа.

1. Изначально моделируется интегральная кривая (нарастание сумм осадков от 0 в начале до общей суммы осадков в конце, с кратностью по времени 10 минут). Далее на ее основе рассчитывается дифференциальное распределение (т.е. суммы осадков не за каждые 10 минут с начала до конца дождя, при этом продолжительность последнего интервала может быть не равна 10 минутам);

2. Моделирование интегральной части профиля ливня выполняется по двум типам функций: прямая и кривая. Продолжительности прямолинейных (n) и криволинейных (k)

участков назначаются не менее половины продолжительности длины интервала, равного 33,3% общей продолжительности дождя, и не более его общей продолжительности;

3. Прямолинейный участок (п) рассчитывается по уравнению $S_n \cdot t$, где S_n (мм/мин) – расчетная интенсивность прямой, средняя за дождь (считается как отношение общей суммы осадков за дождь к общей продолжительности дождя); t – время, мин.

4. Криволинейный участок (к) рассчитывается по уравнению Г.А. Алексеева $\sum_{i=1}^t h_i(t) = S_0 \cdot t^{1-n}$, где S_0 – предельная (мгновенная) интенсивность дождя при продолжительности $t \rightarrow 0$ (задается пользователем на основе карт, созданных автором); n – показатель степени редукции интенсивности дождя от его продолжительности (изменяется для территории Урала от 0,56 до 0,65, по данным исследований автора).

5. Положение переломных точек (точек сочленения прямолинейных и криволинейных участков) привязывается либо к началу, либо к концу, либо к середине интервалов a, b, c ;

6. Сумма осадков и продолжительность дождя до переломной точки определяются по уравнениям прямой;

7. Сумма осадков и продолжительность после пика определяются по остаточным уравнениям (таким образом, чтобы к концу дождя функция вышла в точку, соответствующую общей сумме осадков за дождь);

8. Предельная интенсивность ливня S_n после пика может определяться по редукционному соотношению

$$S_n = \frac{h_2}{t_2^{1-n}}, \text{ где } h_2 \text{ – сумма осадков после пика ливня, мм, } t_2 \text{ –}$$

продолжительность выпадения осадков от пика ливня до его окончания, мин.

9. Расчет интегральной кривой профиля ливня ($\Sigma h_i(t)$) ливня ведется с дискретностью по времени 10 минута по описанным выше уравнениям. Дифференциальная кривая профиля ливня ($h_i(t)$) определяется по данным интегральной кривой путем дифференцирования (вычитания из последующего предыдущего).

Предварительные результаты и апробация алгоритма

При статистическом моделировании профилей ливня по 200 событиям в 150 пункта выявлены следующие статистические погрешности использования лог-нормального распределения. Погрешность расчета средних значений суммы осадков за ливень не превышает 3%, коэффициентов вариации сумм осадков – не превышает 7%. Статистическая погрешность расчета общей продолжительности дождя не превышает 10%, а коэффициента вариации продолжительности дождя – 5%. Статистическая погрешность моделирования предельной интенсивности дождя изменяется от 2 до 7%. Погрешности определения параметров кривых редукции – не более 15% (максимальная погрешность, до 15%, наблюдается при расчетах интенсивности дождя за короткие временные интервалы – менее 20 минут).

Выходные результаты программа представляет в графическом и численном видах.

Предварительный результат моделирования одного из «профилей дождя» в интегральном виде представлен на рис. 2.

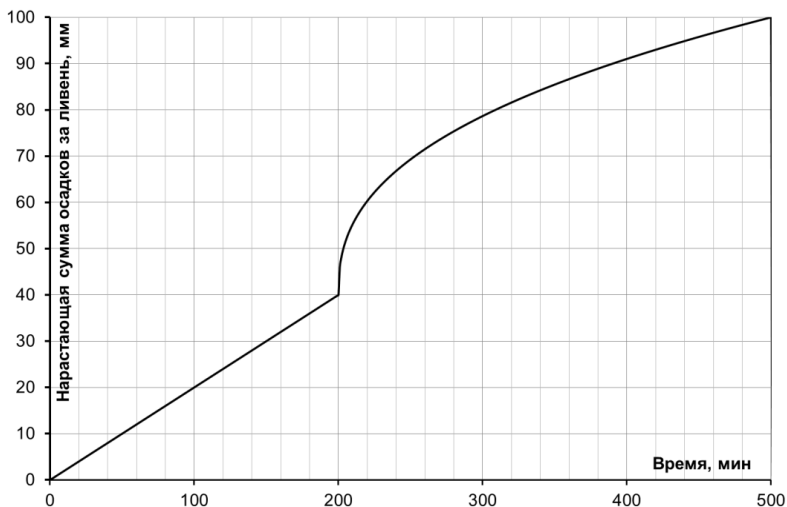


Рис. 2. Интегральная кривая смоделированного хода лив-

ня $\sum_{i=1}^t h_i(t)$ с максимумом осадков на конец второго интервала (тип III) ($H=100$ мм, $t=500$ мин.)

Литература

1. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., Минстрой, 47 с.
2. Богомазова З.П., Петрова З.П. Исследование выдающихся дождей Северо-Западного района Европейской территории СССР и их зависимость от площади распространения // Труды ГГИ, Вып. 1 (55), 1947. С. 106-144.
3. Галактионов И.И. Метод типизации дождей по показателю симметрии (на сетевых материалах Северо-Западного УГМС) // Труды ЛГМИ, Вып. 55, 1975. С. 48-55.
4. Соловьева Н.Н. Статические характеристики и типизации дождей в бассейне Верхнего Амура. Труды ЛГМИ, Вып. 35, 1969. С. 133-139.

5. Шикломанов И.А. Приближенный метод расчета ливневых паводков на малых неизученных водотоках степной и лесостепной зон ЕТС с использованием электронно-моделирующего устройства // Труды ГГИ, Вып. 163, 1968. С. 126-148.

6. Клименко Д.Е., Епончинцева Д.Н., Корепанов Е.П., Черепанова Е.С. Исследование кривых редукции паводкоформирующих ливневых осадков Зауралья // Метеорология и гидрология. 2018, №2. С. 76-89.

7. Клименко Д.Е. Опыт применения односторонне-усеченного лог-нормального распределения к расчетам максимального стока дождевых паводков на малых реках // Инженерные изыскания, 2017, №10. С. 66-72.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ АЭРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ

Е.В. Колесникова

Российский государственный гидрометеорологический университет

Санкт-Петербург, Россия

В работе проводится расчет канцерогенного риска для здоровья жителей Санкт-Петербурга. Приводится анализ пространственного распределения риска по городу, выделяются основные факторы его формирования.

FEATURES OF THE FORMATION OF THE AEROGENIC RISK FIELD FOR THE CITIES POPULATION HEALTH

E. V. Kolesnikova

Russian State Hydrometeorological University

Saint-Petersburg, Russia

In the article deal with the calculation of the carcinogenic risk for the population health of Saint Petersburg. Also the analysis of the risk distribution for the city is given, highlighted the main factors of its formation.

Введение

В настоящее время оценка риска для здоровья населения становится важным интегральным показателем качества

ва окружающей среды, необходимым для обобщения больших разнородных массивов данных о загрязнении воздуха, выявления особо опасных зон и разработки планировочных решений для городов. Методический аппарат оценки риска здоровью в настоящее время довольно быстро развивается под эгидой ВОЗ. Особое внимание уделяется канцерогенным веществам, вызывающим онкологические заболевания. Они особенно опасны и даже в небольших дозах создают риск проявления заболевания на протяжении всей жизни [1].

Целью данной работы стало выявить особенности формирования поля аэрогенного канцерогенного риска для здоровья населения промышленных городов. Для этого решались следующие задачи:

- на примере Санкт-Петербурга провести расчеты и анализ аэрогенного канцерогенного риска для здоровья по приоритетным загрязняющим веществам;

- статистическими, картографическими и визуальными методами анализа геоэкологической информации выявить особенности формирования поля аэрогенного риска для здоровья населения, а так же основные факторы, влияющие на формирование данного поля.

Материалы и методы

Для анализа статистических зависимостей между показателями здоровья и основными факторами риска в работе использованы данные о заболеваемости населения Санкт-Петербурга. Собраны и обработаны данные отдельно для детского и взрослого населения по классам заболеваемости:

новообразования, врожденные аномалии, заболевания органов дыхания и первичная заболеваемость. Исследования отнесены к «доковидному» периоду, а именно с 2005 по 2019 гг. [2,3].

Для расчёта и выявления особенностей формирования поля аэрогенного риска для здоровья в работе использованы данные о среднегодовых концентрациях восьми канцерогенов: фенол, бензол, этилбензол, толуол, ксилол, формальдегида, бенз(а)пирен и аэрозольные частицы фракций 10 и 2,5 мкм.

В работе применялись такие методы, как анализ литературных данных, информационно-картографический метод, статистические методы, а так же расчет и оценка канцерогенного риска [4].

Результаты и обсуждение

При постоянном воздействии канцерогенных загрязняющих веществ риск развития патологий неизбежен. Здоровье населения в Санкт-Петербурге по сравнению с показателями по России находится в крайне невыигрышной ситуации. Так, не смотря на высокое качество медицинского обслуживания, врожденные пороки развития у детей города диагностируются чаще на 26,2%, чем в среднем по стране и на 19,6% больше, чем в Ленинградской области, что во многом исключает такой фактор, как тяжелый для здоровья климат.

Корреляционный анализ показал взаимосвязь между концентрациями *взвешенных частиц* и рядом заболеваний населения Санкт-Петербурга:

- Первичная заболеваемость взрослого населения ($r=0,9$),
- Заболеваемость взрослых по классу новообразования ($r=0,5$),
- Первичная заболеваемость детского населения ($r=0,9$),
- Заболеваемость детей по классу болезни органов дыхания ($r=0,9$),
- Заболеваемость детей по классу новообразования ($r=0,6$),
- Заболеваемость детей по классу «врожденные аномалии» ($r=0,6$).

Так же обнаружена значимая связь заболеваемости детей по классу новообразования с колебаниями концентраций *этилбензола, толуола и ксилолами* ($r=0,5$).

Индивидуальный канцерогенный риск по группе «смесь аэрозольных частиц фракций 10 и 2,5 микрона» на организм *детского населения* в среднем по городу составил $1,04 \times 10^{-4}$ (рисунок 1). Для *взрослого населения* показатель несколько выше и составляет $1,12 \times 10^{-4}$. Такой риск почти не превышает приемлемый и соответствует 1 дополнительному случаю возникновения злокачественных новообразований от исследуемого фактора на 10 000 человек в год.

В работе произведен расчет индивидуального канцерогенного риска для детского и взрослого населения по районам города. Анализ пространственного распределения канцерогенного риска здоровью показал, что все его осредненные значения находятся в допустимом диапазоне. Однако, наблюдаются его отдельные превышения в 7 и более раз, которые отмечены в Колпинском ($8,41 \times 10^{-5}$ – детское население

ние и $9,01 \times 10^{-5}$ – взрослое), Красносельском ($8,0 \times 10^{-5}$ – дети, $8,57 \times 10^{-5}$ – взрослые), Пушкинском ($7,67 \times 10^{-5}$ – дети, $8,22 \times 10^{-5}$ – взрослые), Калининском ($7,66 \times 10^{-5}$ – дети, $8,21 \times 10^{-5}$ – взрослые), Выборгском ($8,45 \times 10^{-5}$ – дети, $9,05 \times 10^{-5}$ – взрослые), Центральном ($7,62 \times 10^{-5}$ – дети, $8,17 \times 10^{-5}$ – взрослые) и Фрунзенском районах ($8,79 \times 10^{-5}$ – дети, $9,42 \times 10^{-5}$ – взрослые).

Такие особенности распределения поля риска, по видимому, объясняются тем, что, например, Центральный и Василеостровский район страдает от транспортной нагрузки и высокого трафика движения. Здесь плотная застройка, препятствующая проветриванию территории. Кроме того, в Центральном районе мало зеленых насаждений, что так же повышает риски здоровью [5]. От транспортной нагрузки страдает и Красносельский район, так как лишен станций метро.

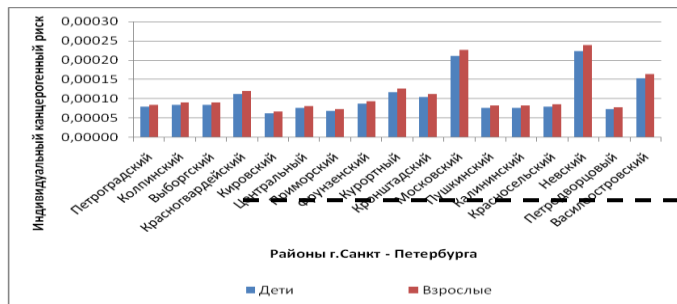


Рисунок 1 – Индивидуальный канцерогенный риск для населения Санкт-Петербурга по группе ВЧ₁₀ и ВЧ_{2,5} с верхней границей допустимого риска.

Особенно выделяются Московский и Невский районы, здесь загрязнение воздуха пылевыми частицами приводит к риску здоровью почти в два раза превышающему показатели по городу. Такие особенности поля риска связаны с загрязняющими веществами от выбросов автотранспорта, который движется по дорогам областного значения.

Распределение *суммарного канцерогенного риска* по восьми исследуемым компонентам (бензол, толуол, ксилол, фенол, бенз(а)пирен, формальдегид, этилбензол и аэрозольные частицы) по районам города показал несколько иную картину (рисунок 2). Суммарный канцерогенный риск относится к третьему диапазону [4], он приемлем для профессиональных групп и неприемлем для населения города в целом. Снова выделяются Московский ($4,38 \times 10^{-4}$), Невский ($4,62 \times 10^{-4}$) и Василеостровский ($3,16 \times 10^{-4}$) районы, здесь канцерогенный риск в 3 и более раза превышает стандартизированные значения (рис.18).

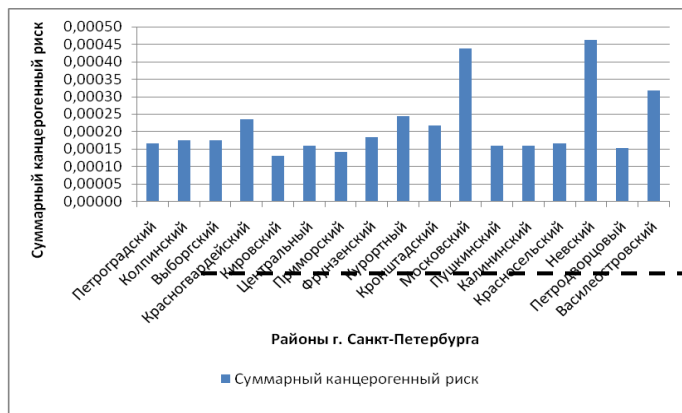


Рисунок 2 – Суммарный канцерогенный риск для населения Санкт-Петербурга по группе ВЧ₁₀ и ВЧ_{2,5} с верхней границей допустимого риска.

Расчет суммарного канцерогенного риска для 18 лет экспонирования популяции показал, что следует ожидать 9 дополнительных случаев заболевания у взрослых и на 100 000 человек. Наибольший вклад в значение суммарного канцерогенного риска детского и взрослого населения вносят следующие вещества: пылевые частицы двух фракций 10 и 2,5 микрона (0,000005), толуол (0,000008), ксилолы (0,000007), формальдегид (0,000001), бензол (0,0000009).

Литература

1. Качество атмосферного воздуха и здоровье. Информационный бюллетень ВОЗ № 313 [Электронный ресурс] / Всемирная организация здравоохранения. – Режим доступа:

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/340800> (Дата обращения 1.11.2021).

2. Доклад о состоянии здоровья населения и организации здравоохранения по итогам деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации [Электронный ресурс] / Министерством здравоохранения Российской Федерации. – Режим доступа:

http://zdrav.spb.ru/media/komzdrav/documents/document/file/sostoyaniye_zdoroviya_naseleniya.pdf (Дата обращения 1.11.2021)

3. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге [Текст] / Под редакцией И.А. Серебрицкого – СПб.: ООО «Дитон», 2019. – 180 с.

4. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы[Текст] / Утв. и введено в действие Заместителем председателя Госкомгидромета СССР Ю.С. Цатуровым 1 июня 1989 г. и Главным государственным санитарным врачом СССР А.И. Кондрусевым 16 мая 1989 г. - Л.: ГГО, 1991. – 603 с.

5. Низамутдинов Т.И., Колесникова Е.В., Алексеев Д.К. Влияние зеленых насаждений на динамику загрязнения воздуха в городах // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2021, № 1 (41). С. 58-73.

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО И ТЕПЛОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ВЫСОКИХ ШИРОТ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА

А.С. Кошкина¹, О.Г. Анискина²

^{1,2} Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается динамическое и термическое состояние атмосферы северного полушария в зимнее время 2000–2020 гг. с использованием аппарата естественных ортогональных функций.

ESTIMATION OF DYNAMIC AND HEAT STATES OF THE MIDDLE ATMOSPHERE OF HIGH LATITUDES BASED ON REANALYSIS DATA

A.S. Koshkina¹, O.G. Aniskina²

^{1,2} Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

The dynamic and thermal state of the atmosphere of the Northern Hemisphere in winter 2000–2020 is considered using the empirical orthogonal functions (Principal component analysis).

Введение

Несмотря на сильное различие в своих характеристиках (таких как распределение температуры с высотой, химиче-

ский состав и масштабы процессов), тропосфера и стратосфера тесно взаимосвязаны. Изменения в одном слое влияют на состояние другого посредством сложных радиационных, динамических и химических процессов. Данные о стратосферно-тропосферных связях, которые являются объектом данного исследования, могут быть использованы как в долгосрочных прогнозах погоды, так и в исследованиях изменения климата, особо актуальных в последнее время, а также в целом важны для общего понимания атмосферных процессов.

Материалы и методы

В исследовании использовались ежедневные сеточные поля геопотенциальной высоты и температуры реанализа UK Met.Office с широтно-долготным разрешением $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, исследовался холодный период года в интервале 2000–2020 гг. Характер распределения геопотенциальной высоты и температуры рассматривался с помощью аппарата естественных ортогональных функций (ЕОФ).

Результаты

Было рассмотрено горизонтальное распределение ЕОФ (на высоте 500 гПа) и высотно-долготные профили (вдоль широты $67,5^\circ$ с. ш.) геопотенциальной высоты и температуры. Для каждого зимнего периода была рассчитана первая ЕОФ (с наибольшим собственным числом) (ЕОФ1), которая описывает наиболее общие закономерности распределения. В результате было получено несколько серий результатов.

Наибольшая изменчивость за весь зимний период наблюдается на территории Азии, Скандинавии и северо-восточной

части Канады. На долготных вариациях ЕОФ1 наибольшая изменчивость наблюдается на верхних уровнях (высоты 10 – 1 гПа) (Рис. 1).

Анализируя годовые аномалии ЕОФ1 относительно 20-летнего среднего, можно отметить, что аномалии, рассчитанные для всего зимнего периода, менее ярко выражены, чем аномалии каждого месяца в отдельности. Наибольшие аномалии наблюдаются в зимний период 2019-2020 гг., который отмечен некоторыми авторами как период с самым сильным полярным вихрем (ПВ) на высотах 100 и 10 гПа за последние 40 лет [1]. Особенно выделяется декабрь 2019 года (Рис. 2), когда практически на всей территории северного полушария аномалии достигают наибольшего значения по модулю (0,6 гПа), но резко различаются по знаку. На территории, где наблюдается наибольшая дисперсия, отмечены очаги положительных аномалий, на остальной территории северного полушария аномалии отрицательные.

Также зима 2019–2020 гг. особенно декабрь 2019 г., выделяется среди долготных профилей ЕОФ1 геопотенциальной высоты и температуры

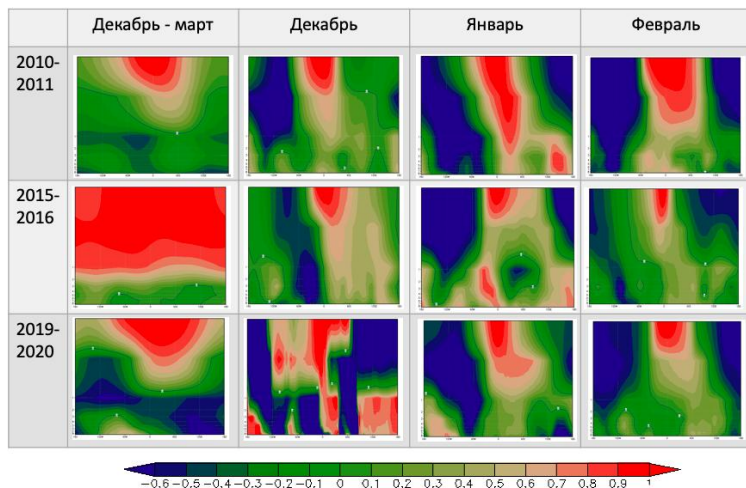


Рис. 1. Долготные вариации ЕОФ1 геопотенциальной высоты для трех зимних периодов.

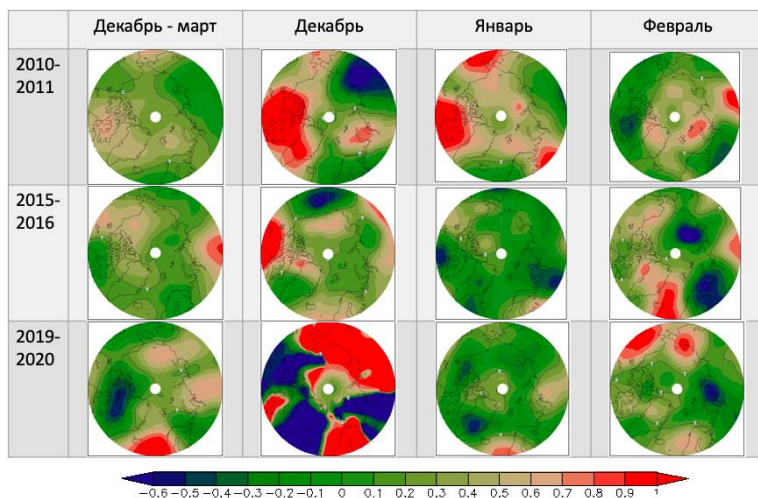


Рис. 2. Карты ЕОФ1 геопотенциальной высоты на уровне 500 гПа на территории северного полушария для трех зимних периодов.

Выводы

1. Атмосфера северного полушария в зиму 2019–2020 гг. находилась в исключительном динамическом и термическом состоянии, о чем свидетельствуют поведения геопотенциальной высоты и температуры на высотах тропосферы и стратосферы.

2. В декабре 2019 г. наблюдалась самая значительная за весь рассматриваемый период изменчивость атмосферных процессов.

3. В долготных вариациях прослеживается положительная аномалия геопотенциальной высоты и температуры на высоте 0,1 гПа, а в высотных – аномалии над северо-восточной частью Канады, Сибирью и Европой.

Литература

1. Zachary D. Lawrence et al. The Remarkably Strong Arctic Stratospheric Polar Vortex of Winter 2020: Links to Record-Breaking Arctic Oscillation and Ozone Loss

2. Багров Н.А. Аналитическое представление последовательностей метеорологических полей посредством естественных ортогональных составляющих // Тр. ЦИП. 1959. Вып. 74. С. 3–24.

3. Моханакумар К. Взаимодействие стратосферы и тропосферы // Пер с англ. Р.Ю. Лукьяновой; под ред. Г.В. Алексева – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 452 с.

ЛАБОРАТОРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЯТЕН СОЛЕНОЙ ВОДЫ
ПРИ ИХ ПОГРУЖЕНИИ В ПРЕСНОЙ ВОДЕ

А.Е. Куприянова^{1,2}, В.А. Гриценко^{2,1}, д-р ф-м. наук

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

Работа посвящена описанию результатов лабораторных и численных экспериментов по изучению процесса взаимодействия между собой двух пятен соленой воды в процессе их погружения в окружающую пресную. Зафиксированы факты взаимопроникновения вод одного из пятен в другое. Показаны особенности динамики соленых и пресных вод.

LABORATORY AND NUMERICAL MODELING OF
THE INTERACTION OF SALT WATER SPOTS DURING
THEIR IMMERSION IN FRESH WATER

A.E. Kupriyanova^{1,2}, V.A. Gritsenko^{2,1}, Dr.Sc.

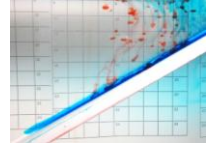
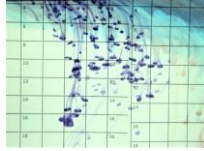
¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

²Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

This article is devoted to the description of the results of laboratory and numerical experiments to study the process of interaction between two

spots of salt water during their immersion in fresh water. The facts of interpenetration of waters of one of the spots into another are recorded. The peculiarities of the dynamics of salt and fresh waters are shown.

Посылки. Существование и средние характеристики процесса сезонного выхолаживания вод хорошо известны [3, 4, 7, 8]. В осенне-зимний период на поверхности воды случайным образом формируются горизонтально протяженные «пятна» с более холодной, чем подстилающая, водой, которые по достижению некоторого критического объема начинают свое погружение в глубину [5–7]. На рис. 1 приведены примеры такого рода событий погружения с поверхности случайного набора термиков с отрицательной плавучестью, воспроизводящих на качественном уровне проникновение более холодных вод с поверхности в глубину.

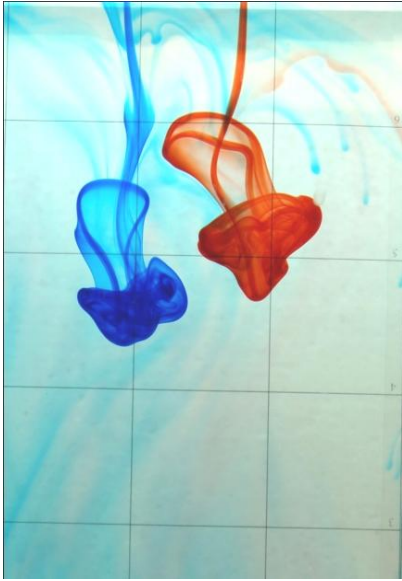


a

Рис. 1. Полученные в лабораторных экспериментах картины проникновения вод с отрицательной плавучестью в глубину. На обоих снимках запечатлено проникновение воды соленой (синяя и красная подкраски) в пресную в гидрлотке. Перепад плотности составлял, соответственно, 0.0001 г/см^3 . На первом снимке (*a*) виден начальный этап погружения термиком с отрицательной плавучестью, на втором (*б*) – начало формирования вдольсклонового течения после достижения термиком склона дна.

Малые скорости погружения позволяют предполагать молекулярный уровень перемешивания различных по плотности вод и достаточно длительное существование каждого из погружающихся пятен соленой воды. Очевидно, что в процессе своего погружения эти пятна могут взаимодействовать между собой. Описание процессов возможного взаимодействия пятен соленой воды при их погружении в окружении пресной и стало **целью** данной работы.

Лабораторные эксперименты были выполнены в гидрлотке с рабочим пространством 80 x 60 x 12.5 см. Все фотографии с высоким разрешением (20 Мп). На рис. 1 приведены несколько снимков, запечатлевших процесс взаимодействия между собой двух пятен соленой воды, визуализированных синим и красным цветом.



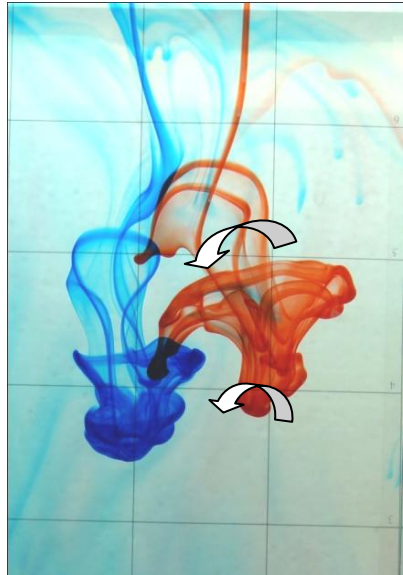
a



б



а



б

Рис. 2. Четыре последовательных во времени снимка (*а, б, в, г*), характеризующие начальный этап взаимодействия двух пятен соленой воды в процессе их погружения в окружении пресной: от независимого друг от друга погружения (*а*), начала сближения (*б*) и контакта (*в*) соленых вод пятен до проникновения вод одного пятна (красного) в воды второго пятна (синего). Величины объема пятен и отрицательной плавучести соленой воды обоих пятен, соответственно, 2 мл и 0.0001 г/см^3 . Расстояния между линиями сетки на снимках равны 4 см.

На рисунке 2 хорошо видна, известная из многих источников [1–4, 6–9], квази-грибообразная форма погружающихся объемов соленой воды, формируемая за счет бароклинного механизма порождения завихренности. Очевиден также разный знак значений завихренности и черты динамики соленых вод, которые на рисунке обозначены стрелками.

Численные эксперименты были выполнены на нелинейной 2d-модели динамики неоднородной по плотности жидкости с двумя дополнительными полями трассеров для идентификации каждого из пятен [2]. Расчеты выполнялись на сетке размерностью 1001 x 601 узлов. Безразмерная величина пространственной дискретизации составляла 0.05.

На рис. 2 приведены распределения в модельном пространстве линий тока (сплошные черные линии) и трассеров обоих пятен (синие и красные линии с градиентной заливкой) для начального этапа процесса взаимодействия (*a*, *b*, *в*) и распада на три новых пятна (*г*), полученные в результате модельного счета. Приведенные графики соответствуют 2.5, 5.0, 7.5 и 16.25 единицам безразмерного времени.

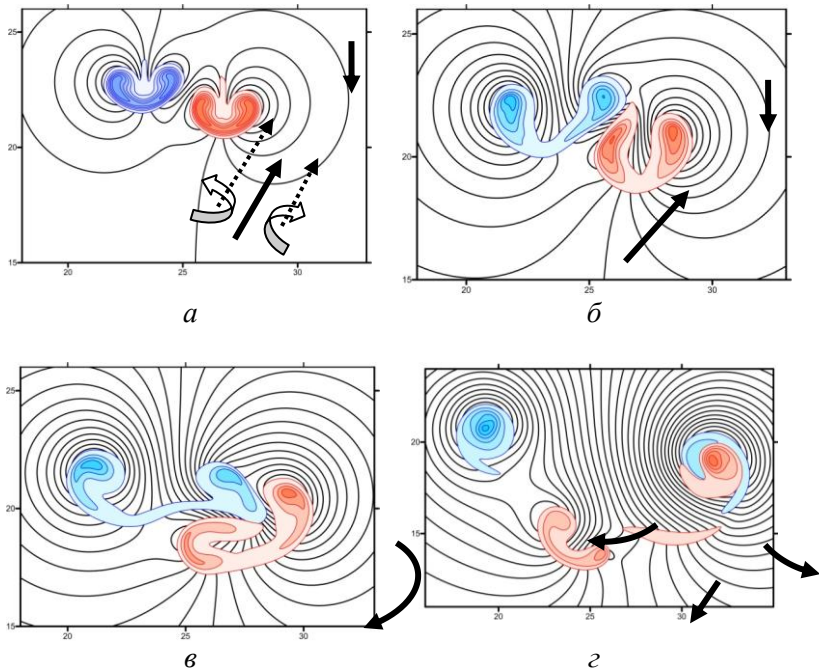


Рис. 3. Распределения изолиний функции тока и трассеров каждого из пятен для части модельного пространства: линиям тока соответствуют черные линии, которые проведены с одинаковым для всех графиков шагом в 0.2; значениям трассеров первого и второго пятен соответствуют синие и красные линии с градиентной заливкой для трех последовательных и равноотстоящих моментов времени, проведены для графиков *a*, *б* и *в* с шагом в 0.15; и с шагом в 0.05 для иной части модельного пространства для одного из последних рассчитанных состояний модельного течения (*z*). Полные размеры расчетного пространства составляют $[0.0, 50.0; 0.0, 30.0]$. Характерные масштабы расчетного течения – $\Delta\rho_0 = 0.0005 \text{ г/см}^3$, $h_0 = 3 \text{ см}$, $u_0 = 1.24 \text{ см/с}$.

Анализ полученных состояний модельного течения позволяет предположить динамический характер взаимодействия пятен. В самом деле, разные знаки завихренности правой и левой периферии левого (синего) и правого (красного) пятен интенсифицируют движение воды между ними. Обозначенные детали динамики вод на этом этапе отображены на рис. 3а соответствующими стрелочками. При этом вовлеченные в движение воды «синего» пятна под действием фактора своей отрицательной плавучести попадают в движение вод «красного» пятна (см. рис. 3б). Дальнейшее объединение гравитационного погружения и движения воды в «красном» пятне обеспечивают проникновение вод «синего» пятна в воды «красного» (см. рис. 3в). В результате взаимодействия двух пятен соленой воды (красного и синего) появляются три пятна, состоящих по отдельности из вод исходных пятен и нового, в котором их воды смешаны (рис. 3г).

Отметим, что распределения трассеров повторяют значения плотности соленой воды в каждом из пятен. Из-за разных по времени этапов эволюции формы погружающихся пятен соленой воды в лабораторных и численных экспериментах, сравнение наблюдаемых распределений плотности оказалось возможным только на качественном уровне. Вместе с тем и в лотке, и в расчетах вихревые движения воды порождают вовлечения вод одного из пятен в воды другого, которые отчетливо различимы на рис. 2г и 3в. Кроме приведенных в тексте, в исследовании были рассмотрены и другие варианты задания начального положения пятен между собой.

Итог. Выполненные в гидрлотке лабораторные эксперименты показали возможность активного взаимодействия пятен соленой воды между собой при их погружении в окружении пресной, в виде проникновения вод одного пятна в другое (см. рис. 2 в, г и 3 б, в). В расчетах и лотке наблюдалось также формирование нового пятна за счет взаимодейст-

вия друг с другом частей вод исходных пятен (см. рис. 3г). Несмотря на малые скорости погружения пятен (~1–2 см/с), генерация завихренности бароклинной природы является основным структурообразующим процессом для наблюдаемого в лотке и расчетах взаимодействия вод пятен с, отличной от окружающей воды, плотностью. Следует также отметить хорошее качественное согласие результатов с ранее полученными различными авторами [1–4, 6–8].

Благодарности. Работа выполнена при поддержке госзадания № 0128-2021-0012 Института океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук (Атлантическое отделение).

Литература

1. Бунэ А.В., Дикарев С.Н., Зацепин А.Г., Тишаев Д.В. Пример численного и лабораторного моделирования процесса развития конвекции // Известия АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1985. Т. 21. №8. С. 892-895.
2. 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.
3. Гинзбург А.И., Дикарев С.Н., Зацепин А.Г., Федоров К.Н. Феноменологические особенности конвекции в жидкости со свободной поверхностью // Известия АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1981. Т. 17. №4. С. 400-407.
4. Гинзбург А.И., Федоров К.Н. Охлаждение воды с поверхности при свободной и вынужденной конвекции // Известия АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана. 1978. Т. 14. №1. С. 79-87.
5. Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хижняк Е.П. Структуры на поверхности воды, наблюдаемые с помощью инфракрасной техники. Успехи физических наук. 2005. Т. 175. №11. С. 1207-1216.
6. Мелешко В.В., Константинов М.Ю. Динамика вихревых структур. Киев: Наукова Думка. 1993. 279 с.

7. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкости. М. МИР. 1977. 431 с.
8. Федоров К.Н., Гинзбург А.И. Приповерхностный слой океана. Л: Гидрометеиздат. 1988. 303 с.

ИЗМЕНЕНИЯ СРОКОВ ПРОМЕРЗАНИЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Л.С. Лебедева

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
Якутск, Россия

Температура воздуха в Восточной Сибири растет интенсивнее, чем в других регионах России. На многих не промерзающих до дна реках значительно увеличивается зимний сток. Целью исследования является оценка изменений сроков полного промерзания рек в бассейнах рек Лена, Яна, Индигирка и Анабар с помощью непараметрических критериев ранговой корреляции Манна-Кендалла и Спирмена с учетом коэффициента автокорреляции ряда и с применением подхода смещающейся выборки. Из 43 постов на трех постах сроки промерзания сдвигаются на более ранние, на четырех постах – на более поздние, на 15 постах преимущественно не меняются, а на остальных пунктах наблюдений выборки различной продолжительности показывают положительные, отрицательные тренды и их отсутствие с некоторым преобладанием выборок с положительным трендом. Для понимания механизмов изменений на одних постах и причин отсутствия трендов на других необходим анализ изменчивости температуры воздуха, твердых и жидких осадков и факторов подстилающей поверхности на водосборах.

CHANGES IN THE FREEZING DATES OF SMALL AND MEDIUM RIVERS IN CRYOLITHOZONE OF EASTERN SIBERIA

L.S. Lebedeva

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

The air temperature in Eastern Siberia is increasing more intensively than in other regions of Russia. On many rivers that do not freeze to the bottom, winter runoff increases significantly. The aim of the study is to assess changes in the timing of complete freezing of rivers in the basins of the Lena, Yana, Indigirka and Anabar rivers using nonparametric Mann-Kendall and Spearman rank correlation criteria, taking into account the autocorrelation coefficient of the series and using the approach of a shifting sample. Out of 43 gauges at three gauges, the freezing dates are shifted to earlier ones, at four gauges – to later ones, at 15 gauges they predominantly do not change, and at the remaining gauges, samples of various durations show positive, negative trends and their absence, with some predominance of samples with positive trend. To understand the mechanisms of changes at some stations and the reasons for the absence of trends at others, it is necessary to analyze the variability of air temperature, solid and liquid precipitation, and factors of the underlying surface in the catchments.

Введение

Температура воздуха в Восточной Сибири растет интенсивнее, чем в других регионах России – на 0.4-0.9°C/10 лет [1]. Осадки также показывают тенденцию к увеличению. Сток сибирских рек изменяется под воздействием потепления климата. Существует много работ, анализирующих изменения стока крупных рек Восточной Сибири – Лены и ее основных притоков. Отмечается увеличение стока р. Лены в 20 веке [2-6] и интенсификация этих изменений в 21 веке [7, 8]. Изменения характеристик стока малых рек остаются исследованными слабо.

На многих не промерзающих до дна реках Восточной Сибири значительно увеличивается зимний сток [3, 7, 9]. Малые и некоторые средние реки в условиях криолитозоны промерзают до дна зимой и их сток отсутствует до начала весеннего половодья.

Целью исследования является оценка изменений сроков полного промерзания рек в бассейнах рек Лена, Яна, Индигирка и Анабар на всех гидрологических постах с наличием данных продолжительностью от 34 лет, где наблюдается ежегодное промерзание реки.

Объекты исследования

В работе использованы данные по 43 гидрологическим постам, включая 25 постов в бассейне р. Лена, по 8 постов в бассейнах рек Яна и Индигирка и по одному посту в бассейнах рек Оленек и Анабар. Период наличия данных о сроках полного промерзания реки варьируется от 34 до 81 года со средним значением 55 лет. Площадь исследуемых водосборов составляет от 4.9 до 89200 кв.

км с медианным значением 1000 кв.км. Среднеголетние сроки полного промерзания рек варьируются от 27 сентября до 8 февраля с медианным значением среди всех рассматриваемых рек 27 ноября. Среднеголетние сроки полного промерзания рек зависят от площади водосбора ($r=0.55$), то есть реки с более крупными водосборами имеют тенденцию промерзать позже, чем водотоки с малыми водосборами.

Методы

Стационарность временных рядов сроков полного промерзания реки была проверена относительно наличия монотонных трендов с помощью непараметрических критериев ранговой корреляции Манна-Кендалла и Спирмена со значением $p < 0.05$. В тех случаях, когда оба теста указывали на наличие тренда, 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 со значением $p < 0.05$ и делался окончательный вывод о наличии или отсутствии статистически значимого тренда [7, 9].

В работе использовался подход смещающейся выборки. По каждому посту из полного ряда данных анализировались выборки продолжительностью 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65 и 70 лет. Для оценки устойчивости наличия или отсутствия тренда во времени анализировались все возможные выборки заданной продолжительности из массива наблюдаемых расходов по посту, то есть ряды заданной продолжительности выбирались, начиная со всех

возможных лет в массиве. Таким образом по 43 постам было проанализировано 2278 выборок различной продолжительности и охватывающих разные годы из исходных рядов данных. В результате использования подхода смещающейся выборки мы имеем долю выборок с положительными, отрицательными трендами и их отсутствием по каждому посту, что позволяет более уверенно судить о долговременной изменчивости исследуемых характеристик.

Результаты оценки трендов сроков промерзания рек

Доля выборок с положительными (смещение на более поздние сроки), отрицательными (смещение на более ранние сроки) трендами и их отсутствием по всем проанализированным рядам дат промерзания рек в среднем составляет 23.5%, 4.5% и 72% соответственно. Доли выборок с положительными, отрицательными трендами и их отсутствием на каждом посту показана на рис. 1. На трех постах (р.Малая Черепаниха - пос.Тюбя, р.Оленек - с.Оленек и р.Ольчан - 4.5 км выше устья р.Туора-Гас) все выборки показывают статистически значимые отрицательные тренды, то есть сроки замерзания смещаются на более ранние сроки. На четырех постах (р.Бугарихта - с.Тупик, р.Большой Ыллымах - р.п.Ыллымах, р.Дулгалаах - с.Томтор и р.Турагас - 1.2 км от устья) на более чем 90% выборок фиксируется значимый положительный тренд, то есть смещение сроков промерзания на более поздние сроки. На 15 постах на более чем 90% выборок обнаружилось отсутствие какого-либо значимого тренда. На остальных постах разные доли выборок соответствуют положительным, отрицательным трендам и их

отсутствию с некоторым преобладаем выборков с положительным трендом.

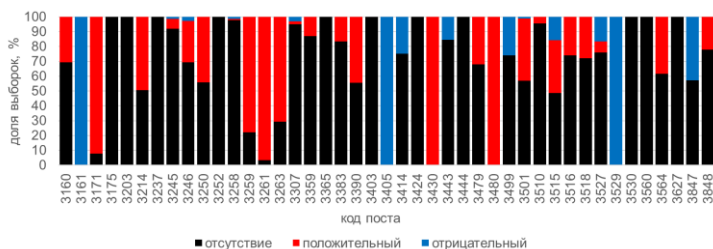


Рис. 1 Доля выборок с отрицательным, положительным трендом и отсутствием тренда на исследуемых гидрологических постах.

Для понимания механизмов изменений на одних постах и причин отсутствия трендов на других необходимо анализ изменчивости температуры воздуха, твердых и жидких осадков и факторов подстилающей поверхности (преобладающие ландшафты, особенности взаимосвязи поверхностных и подземных вод на водосборах), которые влияют на процессы промерзания рек в криолитозоне.

Выводы

На фоне интенсивного потепления климата и увеличения зимнего стока крупных рек в Восточной Сибири промерзающие до дна реки показывают неоднозначные тенденции изменений сроков полного промерзания. Из 43 постов на трех постах сроки промерзания сдвигаются на более ранние, на четырех

постах – на более поздние, на 15 постах преимущественно не меняются, а на остальных пунктах наблюдений выборки различной продолжительности показывают положительные, отрицательные тренды и их отсутствие с некоторым преобладанием выборок с положительным трендом.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №20-55-71005) и гранта Президента Российской Федерации №МК-5330.2021.1.5.

Литература

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. – Москва, 2021. – 104 стр.
2. Peterson, B.J.; Holmes, R.M.; McClelland, J.W.; Vörösmarty, C.J.; Lammers, R.B.; Shiklomanov, A.I.; Shiklomanov, I.A.; Rahmstorf, C. Increasing river discharge to the Arctic Ocean. *Science* 2002, 298, 2171–2173.
3. Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Многолетние изменения годового и сезонного стока рек бассейна Лены / Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2014. – №2, – с. 71-83
4. Ye, B.; Yang, D.; Zhang, Z.; Kane, D.L. Variation of hydrological regime with permafrost coverage over Lena Basin in Siberia. *J. Geophys. Res.* 2009, 114, D07102.
5. Berezovskaya, S.; Yang, D.; Hinzman, L. Long-term annual water balance of the Lena River. *Glob. Planet. Chang.* 2005, 48, 84–95.
6. Ye, B.; Yang, D.; Kane, D. Changes in Lena River streamflow hydrology: Human impacts versus natural variations. *Water Resour. Res.* 2003, 39, 1200.
7. Tananaev, N.I.; Makarieva, O.M.; Lebedeva, L.S. Trends

in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia. *Geophys. Res. Lett.* 2016, 43, 764–772.

8. Shiklomanov, A.I.; Lammers, R.B. Record Russian river discharge in 2007 and the limits of analysis. *Environ. Res. Lett.* 2009, 4, 045015.

9. Makarieva, O.; Nesterova, N.; Post, D.A.; Sherstyukov, A.; Lebedeva, L. Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost. *Cryosphere* 2019, 13, 1635–1659.

ВЫЯВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОТЕПЛЕНИЙ АРКТИКИ

В.А.Лобанов.¹, д-р техн. наук, П.И. Самсоненкова¹,
А.А.Григорьева²

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

²Якутское УГМС, Якутск, Россия

Разработаны статистические методы и методика выявления двух последних потеплений Арктики: 1920-40 годов и конца 20 – начала 21 веков на основе многолетних рядов среднемесячных температур воздуха на метеостанциях обеих полушарий. Осуществлен выбор наиболее эффективной модели аппроксимации временных рядов из трех: стационарная выборка, тренд, ступенчатые изменения. Установлено, что современное потепление началось в разные годы и значительно превышает предыдущее из-за антропогенного влияния.

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF MODERN CLIMATE WARMING IN THE ARCTIC

V.A.Lobanov¹, Dr of Tech.Sc., P.I.Samsonenkova¹,
A.A.Grigorjeva²

¹Russian State Hydrometeorological University, St.Petersburg, Russia

²Yakutsk Department of Hydrometeorological Service, Yakutsk, Russia

Statistical methods and techniques have been developed for identifying the last two warming in the Arctic: 1920-40 and the late 20th - early 21st centuries on the basis of long-term time series of average monthly air temperatures at meteorological stations in both hemispheres. The choice of the most effective model for approximation of time series from three: stationary sample, trend, stepwise changes. It has been established that

modern warming began in different years and is more significant than the previous one due to anthropogenic influence.

Введение

Все физико-математические модели климата при воспроизведении современного потепления дают наибольший рост температур воздуха именно в Арктическом бассейне и этот рост по оценкам может составлять более 10-15°C для среднегодовой температуры [1,2,3]. Современные результаты мониторинга температуры, приведенные в 5-ом оценочном докладе МГЭИК показывают, что тренды, полученные за период 1950—2010 гг. дают наибольшую скорость роста в умеренных, а не в арктических широтах, как это должно соответствовать теории современного потепления [2, 3]. Причем наибольшая область «разогрева» планеты находится в центре Восточной Сибири и в Забайкалье [1, 4]. Вместе с тем, потепление Арктики уже имело место в 1920—40х годах и было обусловлено не антропогенными, а в основном естественными причинами [5]. Поэтому целью настоящей статьи является выявление как современного потепления Арктики, так и предыдущего на основе многолетних рядов наблюдений, и оценка насколько они отличаются друг от друга.

Исходная информация и метод исследования

В качестве исходных данных рассматривалась информация о многолетних наблюдениях за среднемесячной температурой воздуха на 71 метеостанции в Восточном и на 31 метеостанции в Западном полушарии с наиболее продолжительными рядами наблюдений, расположенных в арктических областях, как показано на рис.1. Начало наиболее ранних наблюдений относится к середине – концу 19 столетия, а последние наблюдения включают 2019-2020 гг.

Методика исследований основывалась на применении статистической модели ступенчатых переходов от одного

стационарного среднего к другому с выявлением лет такого перехода путем минимизации суммы квадратов отклонений от каждого среднего [4,6,7]:

$$\sigma_1^2(n_1-1)+\sigma_2^2(n_2-1)=\min, \quad (1)$$

где n , n_1 , n_2 — объем всего ряда и каждой из двух частей временного ряда.

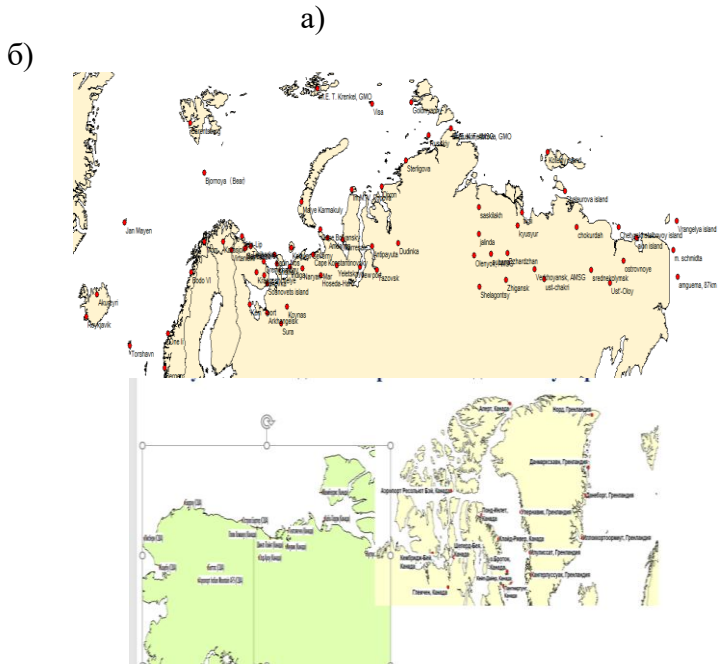


Рис. 1 Расположение пунктов наблюдений за температурой воздуха: а) в Арктике Восточного полушария, б) в Арктике Западного полушария.

Особенность выражения (1) в том, что на основе его можно определить только один ступенчатый переход в рассматриваемом ряду наблюдений. Вместе с тем необходимо выделить как начало и окончание потепления Арктики 1920-40х годов, так и начало современного потепления, т.е. определить даты трех переходов от одних стационарных условий к другим. Поэтому ряды наблюдений были разделены на три отрезка:

- с начала наблюдений по 1940 г. для выявления начала первого потепления,
- с 1920 г. по 1980 г. для выявления окончания первого потепления,
- с 1960 г. по последний год наблюдений (2019-2020 гг.) для выявления начала второго потепления.

Для количественной оценки влияния потеплений были определены разности средних температур воздуха за период потеплений ($T_{срт}$) и за периоды до и после потеплений ($T_{срх} = (T_{срх1} + T_{срх2})/2$):

$$\Delta T_{ср} (^{\circ}\text{C}) = T_{срт} - T_{срх} \quad (2)$$

При этом для первого потепления $T_{срх}$ рассчитывалась как среднее за периоды до и после потепления, а для последнего $T_{срх}$ определялось только после окончания первого потепления до начала последнего.

Результаты и их обсуждение

На рис.2 показаны примеры выявления двух арктических потеплений с помощью модели ступенчатых изменений среднего значения. Как следует из графиков рис.2, оба потепления Арктики выделяются во многолетних рядах, но соотношение между ними разное для разных метеостанций. Для метеостанций внутренней Арктики подъем температуры при современном потеплении выше, чем при предыдущем 1920—40х годов, для метеостанций, которые располагаются южнее

современное потепление и предыдущее практически одинаковы и подъем температуры при потеплениях не столь большой: 1—2 °С против 5—8 °С во внутренней Арктике.

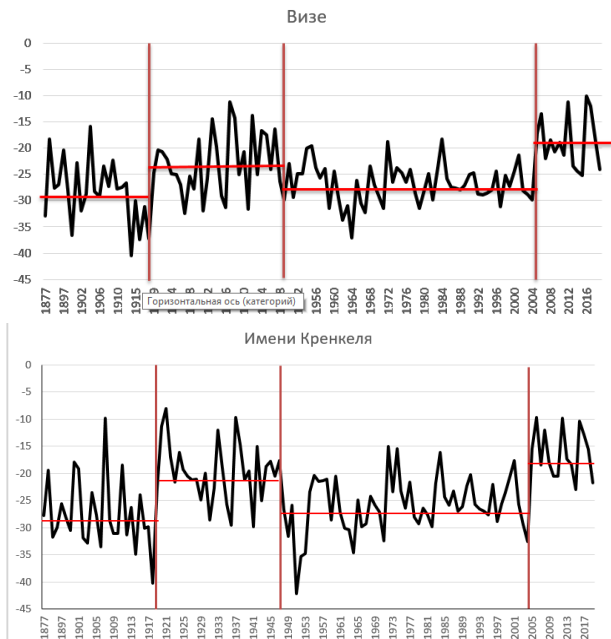


Рис.2 Примеры многолетних рядов температур января на метеостанциях с выявленными периодами потеплений (предыдущего 1920—40 годов и современного конца 20—начала 21 веков).

На рис.3 приведено пространственное распределение лет начала последнего потепления или перехода от одного стационарного режима к другому для всей Арктики. Из рис.3 следует, что первой в конце 1980х годов на современное потепление откликнулась западная и юго-западная часть полярного бассейна Северного полушария. Затем в 1990х годах потепление наступило на севере Скандинавии и на побережьях Баренцева и Белого морей и только в начале 2000х

(2004—2005 гг.) откликнулась восточная часть с Карского моря до Таймыра и внутренние области Арктики, а в период с 2006 по 2009 гг. потепление начало проявляться и на северо-востоке.

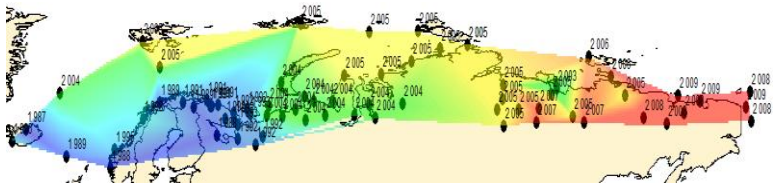


Рис.3 Пространственное распределение лет начала современного потепления в Арктике для температур воздуха января.

Подобное запаздывание начала потепления в разных частях Арктики можно объяснить тем, что прежде всего в конце 1980х годов резко изменился вид циркуляции, усилился западный тип (W), что связано с переходом Северо-Атлантического колебания (САК) в положительную фазу, и существенно уменьшился тип циркуляции (E), связанный с затоком холода из Восточной Сибири [8,9]. Поэтому зимы в Европе стали теплее и этот усиленный западный перенос начал блокировать арктический холод и постепенно распространяться как к центральной части (через 5-7 лет), так и на север (через 15-18 лет), а в последнее время на потепление начинает откликаться и восточная часть Арктики.

Для количественной оценки потеплений были определены разности между средними значениями температур в периоды потеплений и средними значениями между потеплениями для потепления 1920-40х годов (Δ_I) и современного (Δ_{II}), а также разности между ними ($\Delta' = \Delta_{II} - \Delta_I$). Для температур января эти разности приведены на рис.4.

$$\Delta_I$$

$$\Delta_{II}$$

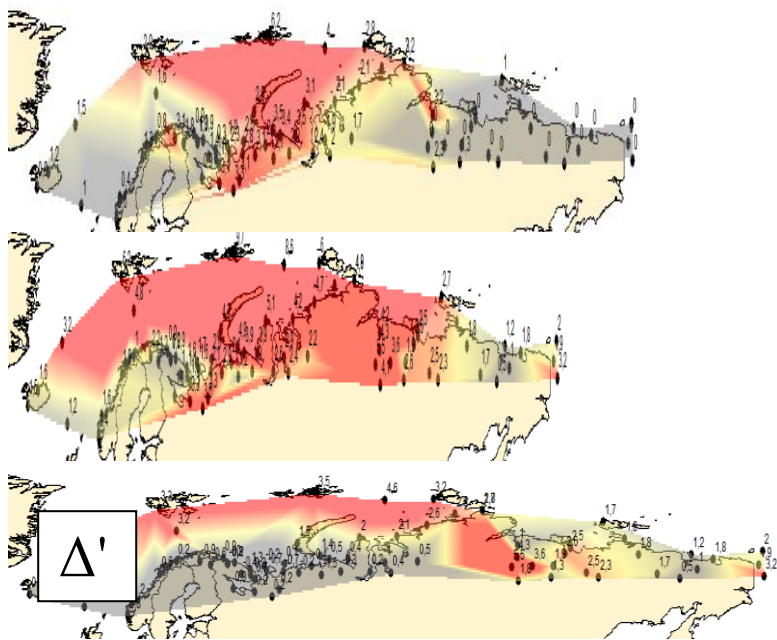


Рис. 4 Пространственные распределения Δ_I , Δ_{II} и Δ' в $^{\circ}\text{C}$ для температур января.

Из полученных пространственных распределений вкладов потеплений следует, что потепление 1920—40х годов привело к росту средних температур во внутренней Арктике Δ_I до 4—6 $^{\circ}\text{C}$, а южнее на суше к меньшему росту и по-разному в разных частях. Так на суше в западной части рост средних составил до 1,5 $^{\circ}\text{C}$, в центральной — до 2—3,5 $^{\circ}\text{C}$, а в восточной части потепление практически не проявилось. Современное потепление является более существенным и дает рост средних температур во внутренней Арктике Δ_{II} до 8-10 $^{\circ}\text{C}$ и охватывает практически всю Арктику восточного полушария, хотя также проявляется по-разному в разных ее частях на суше. Так, на западе потепление от 1 до 3 $^{\circ}\text{C}$, в

центральной части — от 1,5 до 5 °С и на востоке от 0,5 до 2—3 °С. Существенная разность между двумя потеплениями Δ' в 3—4 °С имеет место только во внутренней западной Арктике. На береговой части всей западной Арктики разность Δ' в основном менее 1°С, а в восточной несколько больше и достигает 2—3° С. Поэтому можно считать, что антропогенная составляющая современного потепления проявилась зимой главным образом во внутренней Арктике, что и соответствует общей концепции математического моделирования климата.

Заключение

В результате проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы.

1. Современное потепление Арктики является более существенным, чем предыдущее 1920—40х годов и его начало варьирует от конца 1980х годов на западе до 1990х в центре и до 2005г. во внутренних районах, когда на него начинает реагировать внутренняя Арктика.
2. Современное потепление проявляется по-разному в разных районах Арктики и в разные сезоны года. Зимой потепление наиболее существенно во внутренних областях Арктики (8—10 °С) и в центральной ее береговой части (3—5 °С) и меньше в восточной. Весной и осенью наоборот больше теплеет восточная половина Арктики (до 3,5 °С). Летом современное потепление проявляется меньше всего и только на западе и востоке сухопутной части Арктики. В Западном полушарии современное потепление имеет место в холодный период года и только в восточной части около Гренландии.
3. Потепление 1920—40х годов было менее значимым весной, летом совсем не проявилось, а осенью наблюдалось только в центральной части (2—3 °С). Наибольшее проявление потепления 1920—40х годов имело место зимой и во внутренней и центральной частях Арктики, где оно достигло 3-5 °С.

4. Разница между потеплениями (возможный антропогенный вклад), составляет примерно половину от современного роста температур во внутренних областях Арктики.

Литература

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М. 2014. — 60 с.

2. Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 2014. — 163 с.

3. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change). 2013. The physical science basis. In Contribution of Working Group I to the Fifth 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. — 1552 p.

4. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. Монография. Санкт-Петербург, издание РГГМУ, 2013. — 123 с.

5. Малинин В.Н., Вайновский П.А. О причинах первого потепления Арктики в XX столетии. Ученые записки РГГМУ, № 53, 2018, с.34—55.

6. Лобанов, В.А., Анисимов, О.А. Современные изменения температуры воздуха на территории Европы. Метеорология и гидрология, №2, 2003. с.5—14.

7. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ №14, 2010, с.73—88.

8. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России. Географический вестник, Пермский университет, 2016, № 3(38), с.79—89.

9. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан / Е.С. Нестеров. — М.: ТРИАДА ЛДТ, 2013. — 144 с.

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ОБЛАСТЯХ ЗА ПЕРИОД 1950-2019 ГГ.

В.М. Лосева¹

¹БФУ им. И. Канта, г. Калининград, Россия

В работе рассмотрены изменения некоторых гидрометеорологических величин (температура воздуха, температура и соленость воды) в период с 1950-2019 гг. Установлены многолетние тенденции изменчивости метеорологических характеристик. Проведена корреляция выявленных изменений с индексом Северо-Атлантического колебания, а также выявлена статистически значимая связь между ними по критерию Стьюдента.

CHANGES OF HYDROMETEOROLOGICAL PARAMETERS OF SOUTH-EASTERN PART OF BALTIC SEA FOR PERIOD FROM 1977-2019 Y.

V.M. Loseva¹

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

In the present work changes of some hydrometeorological parameters since the years 1950-2019 were studied (air temperature, water temperature, and salinity of water). Long-term trends in the variability of hydrometeorological characteristics were established and a correlation between those tendencies and the index of North Atlantic Oscillation with a statistically significant connection between them was revealed with Student criterion.

Введение

Атмосферная циркуляция в Европейском/Атлантическом секторе играет важную роль в региональном климате бассейна Балтийского моря [1]. В данной работе изучается влияние Северо-Атлантического колебания на изменения гидроме-

теорологических параметров. Это колебание связано с перераспределением атмосферных масс между Арктикой и субтропической Атлантикой, переходя из одной фазы в другую, оказывает очень сильное влияние на среднюю скорость ветра и его направление над Атлантикой, обмен влагой и теплом между Атлантическим океаном и прилегающих к нему континентов, интенсивность и количество штормов, их передвижение и их погодные условия [2]. Как показывают исследования [3], для САК характерна хорошая корреляция между значениями его индексов и штормовой активностью, температурой воздуха, параметрами вод Балтики и т. д., при этом сопряженность изменений различных параметров и индексов других колебаний обсуждается нечасто. В связи с этим целью работы явилось установление взаимосвязи между изменчивостью различных атмосферных колебаний и метеорологическими величинами. Как правило, для исследования используется САК в зимний период, когда его проявление более всего заметно ([4]

Материалы и методы

В работе использованы данные Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИ-МО), а именно: прибрежные массивы среднемесячных значений солёности воды, температуры воды, [5]; данные среднемесячных значений температуры воздуха, АИСОРИ [6]. Значения индекса Северо-Атлантического взяты с сайта NOAA [7]. Для оценки изменений анализировались осредненные данные за зимний и летний сезоны, а также среднегодовые значения.

Для выявления связей между гидрометеорологическими параметрами и Северо-Атлантическим колебанием использовался статистический анализ [7].

Изменения температуры воздуха. Температура воздуха принадлежит к числу важнейших параметров климатических изменений, оказывающих непосредственное воздействие на жизнь организмов. Температура воздуха в юго-восточном

регионе Балтийского моря имеет тенденцию к увеличению значений на всех исследованных станциях и во все временные периоды (рис. 1). Наиболее значительное увеличение температуры воздуха наблюдается в зимний период.

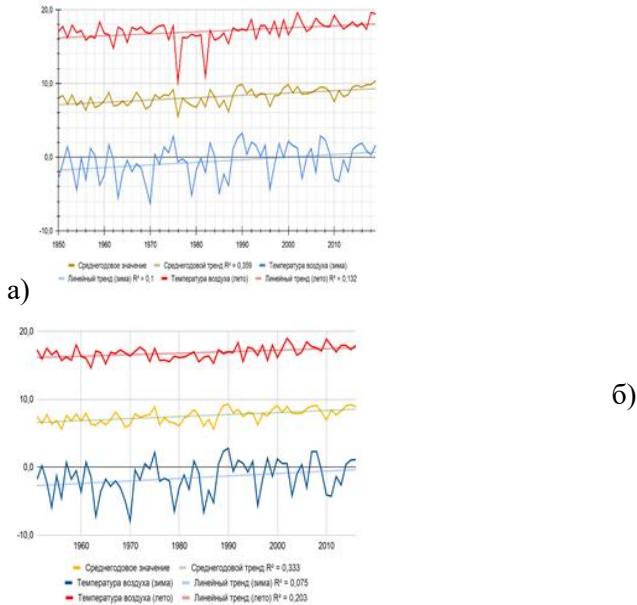
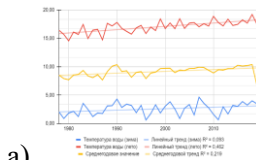


Рис. 1. Графики изменения среднемесячных температур воздуха: а - Балтийск, б - Калининград.

Самый большой рост показали среднегодовые величины температуры воздуха за 69-летний период со скоростью $0,32^{\circ}\text{C}/10$ лет (Калининград, (1950-2019)) и $0,31^{\circ}\text{C}/10$ лет (Балтийск, (1950-2019)). Также примечательно, что изменение значения температуры воздуха является более выраженным в зимние месяцы, чем в летние. Например, летние тренды составляют $0,24-0,26^{\circ}\text{C}/10$ лет на станциях, в то время

как в зимние месяцы изменения значений были $0,35\text{--}0,37^\circ\text{C}/10$ лет в Балтийске и Калининграде.

Изменения температуры воды. Хорошо известно, что изменения температуры воды, в особенности на поверхности моря, находятся в тесной зависимости от колебаний температуры воздуха. Следовательно, температура воды, наравне с ледовитостью, является хорошим индикатором колебаний климата. По данным наблюдения выделяются положительные тенденции для температуры воды на всех станциях на всех временных рядах: среднегодовых, средне зимних и в средне летних значениях, которые доходят до $0,58^\circ\text{C}/10$ лет в летнем сезоне (Пионерский) (рис. 2). Среднегодовые величины температуры воды за 42-летний период находятся все в положительной тенденции, изменение среднегодовых значений температуры воды достигает $0,3^\circ\text{C}/10$ лет (Пионерский (1977-2019), Балтийск (1977-2018), Краснофлотское (1977-2019)) (рис. 2). В Калининграде с временным рядом наблюдения 30 лет (1977–2007 гг.) наблюдается наибольшая скорость изменения среднегодовых значений температуры воды $0,4^\circ\text{C}/10$ лет (рис. 2).



а)



б)



в)

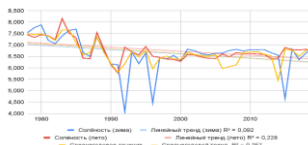


г)

Рис. 2 Графики выявленных трендов изменения температуры воды на станциях: а - Пионерский, б - Балтийск, в - Краснофлотское, г - Калининград.

Изменения солености воды. Соленость, наряду с другими гидрохимическими показателями, является важнейшей океанологической характеристикой: от концентрации солей в воде во многом зависит ход гидрофизических и гидробиологических процессов. Как показывают графики колебания солености на станциях, расположенных на морском берегу (Балтийск, Пионерский) более значительны (десятичные доли промилле) в сравнении со станцией на берегу залива (Краснофлотское) на которой сезонные колебания солености могут составлять сотые доли промилле (рис. 3).

Для показателей солености характерны как положительные, так и отрицательные тренды. Уменьшение среднегодовой величины солености прибрежных вод отмечается за 42-летний период (1977–2019 гг.) на всех станциях. Среднее зимнее значение также уменьшается на всех станциях кроме ст. Краснофлотское. Среднее летнее значение солености снижается на всех станциях. Также везде отмечается уменьшение среднегодового значения солености прибрежных вод возможно вследствие увеличения количества осадков и речного стока. Наблюдается снижение солености со скоростью 0,2‰/10 лет (Пионерский), 0,1‰/10 лет (Балтийск) и слабоотрицательный тренд -0,04‰/10 лет (Краснофлотское).



а)



б)

в)

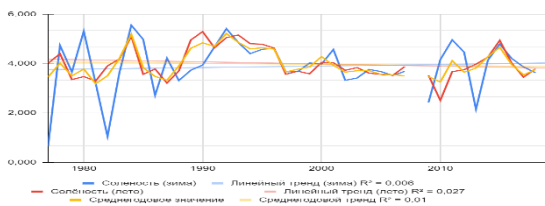


Рис. 3 Графики выявленных трендов изменения солености воды на станциях: а - Пионерский, б - Балтийск, в - Краснофлотское.

В ходе работы вычислены коэффициенты корреляции, а также выполнен статистический анализ вычисленных коэффициентов, используя критерий Стьюдента. Таким образом прослеживается значительный коэффициент корреляции в зимний период по станциям, Балтийск, Калининград, ($r=0,64$, $r=0,66$ соответственно). Также эти коэффициенты имеют хорошую статистическую значимость около 7 и более. Что позволяет констатировать, что на данных станциях, в зимний период преимущественно, прослеживается прямое влияние САК на изменение температуры воздуха. В летний период, влияние прямо пропорционально, однако крайне мало, статистически значимой связи не выявлено.

Для температуры воды выявлены статистически значимые связи для станций Пионерский, Балтийск (зима) (коэффициенты корреляции равен 0,4 и 0,35 соответственно) и для станций Калининград, Краснофлотское (лето) (коэффициент корреляции равен 0,43 и 0,34 соответственно). Критерии Стьюдента в данном случае варьируются от 2,33 (Краснофлотское) до 2,82 (Пионерский), поэтому можно говорить, что в данном случае прослеживается влияние Северо-Атлантического колебания, хоть и небольшая.

Для значений коэффициентов корреляции между усредненными значениями индекса САК и солёности не выявлены статистически значимые связи.

Выводы

1. Наблюдаются положительные тренды изменения температуры воздуха на станциях Балтийск и Калининград с 1950-2019 гг. в зимний, летний и годовой периоды.
2. Наблюдаются положительные тренды изменения температуры воды на станциях Пионерский, Краснофлотское с 1977-2019гг., Балтийск с 1977-2018гг., и станции Калининград с 1977-2003 гг., в зимний, летний и годовой периоды.
3. Наблюдаются отрицательные тренды изменения солёности воды на станциях Пионерский, Краснофлотское, Балтийск 1977-2019 гг., в летний и годовой периоды. В зимний период тренд становится положительным только на станции Краснофлотское (возможно локальное влияние реки), в остальных продолжается отрицательный тренд.
4. Выявлено статистически значимое влияние САК на изменения температуры воздуха в зимний период на станциях Балтийск, Калининград (1950-2019 гг.), а также на изменение температуры воды на станциях Пионерский, Балтийск в зимний период и на станциях Калининград, Краснофлотское в летний период. Таким образом можно судить о влиянии САК на гидрометеорологические параметры юго-восточной части Балтийского моря.

Литература

1. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic oscillation: regional temperature and precipitation // Science. – 1995. – Vol. 269, No. 5224. – P. 676–679.

2. Hurrell J.W., Kushnir Y., Ottersen G., Visbeck M. An overview of the North Atlantic Oscillation: The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact, Geophys. Monogr. – 2003. – Vol. 134. – P. 1–35.
3. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. М.: Триада, лтд, 2013. 144 с.
4. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) [сайт]. URL: <http://portal.esimo.ru/portal> (дата обращения 21.05.2021)
5. Автоматизированная информационная система обработки режимной информации (АИСОРИ) [сайт]. URL: <http://aisori-m.meteo.ru> (дата обращения 21.05.2021)
6. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [сайт]. URL: <http://noaa.gov> (дата обращения 21.05.2021)
7. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Изд. РГГМУ. – 2008 - 406 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СУДОХОДСТВА ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

Г.И. Мазуров, В.И. Акселевич

Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова,
Санкт-Петербург

В докладе рассматриваются перспективы увеличения судоходства по Северному морскому пути в условиях потепления климата и увеличения ассигнований на развитие Арктического региона. Делается небольшой экскурс в прошлое и историю вопроса. Описываются важнейшие стратегические задачи, связанные с облегчением мореплавания за счет внедрения современных технологий и изменением климатических условий в Арктике. Обсуждается трехэтапный план корпорации «Росатом» по строительству архитектуры Северного морского пути.

PROSPECTS FOR INCREASING SHIPPING ON THE NORTHERN SEA ROUTE

G.I. Mazurov, V.I. Akselevich

Main Geophysical Observatory A.I. Voeikova, St. Petersburg

The report examines the prospects for increasing shipping along the Northern Sea Route in the context of a warming climate and an increase in allocations for the development of the Arctic region. A small excursion into the past and the history of the issue is made. The most important strategic tasks related to facilitating navigation through the introduction of modern technologies and changing climatic conditions in the Arctic are described. A three-stage plan of the «Rosatom» corporation for the construction of the architecture of the Northern Sea Route is being discussed.

Снабжение островов Северного Ледовитого океана и его прибрежных районов осуществляется через Северный мор-

ской путь (СМП). Он является важным, и, пожалуй, единственным надежным способом доставки туда всего оборудования и товаров первой необходимости, а также продуктов питания. Важно преодолеть этот путь за одну навигацию. В противном случае район, куда это не будет доставлено, не сможет в зимний период выполнять поставленные задачи.

Доставка оборудования и других товаров в прибрежные районы Северного Ледовитого океана оказывается невозможной из-за оттаивания вечной мерзлоты в летний период в связи с глобальным потеплением климата.

СМП проходит по морям Северного Ледовитого океана (Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) и частично Тихого океана (Берингово). Северный морской путь ограничен западными входами в новоземельские проливы и меридианом, проходящим на север от мыса Желания, и на востоке в Беринговом проливе параллелью 66 с.ш. и меридианом 168°58' в.д.

Впервые в 1648 году плавание якутского казака Семена Дежнева из устья Колымы к реке Анадырь доказало раздельность Евразии и Америки и наличие морского прохода из Северного Ледовитого океана в Тихий.

В 1878—1879 гг. шведская экспедиция Норденшельда совершила первое сквозное плавание по Северному морскому пути с зимовкой у побережья Чукотского полуострова. Первое сквозное плавание в направлении с востока на запад с зимовкой у полуострова Таймыр совершила гидрографическая экспедиция под руководством Бориса Вилькицкого на ледокольных пароходах «Таймыр» и «Вайгач» в 1914—1915 годах. Это плавание стало также первым сквозным прохождением СМП российской экспедиции.

В 1930-е годы были попытки, правда не всегда удачные, преодолеть СМП за один теплый сезон. Застрелвал во льдах, например, ледокол «Челюскин». В период Великой Отечественной войны и послевоенного восстановления народного хозяйства было не до этого.

В последние 2-3 десятилетия появилась надежда на постоянную навигацию от Мурманска до Анадыря за одну навигацию. в связи с появившимися современными более мощными ледоколами, в том числе атомными, и с наметившимся потеплением климата. Выясняется, что в высоких широтах оно идет быстрее, чем в умеренных и низких. Это можно объяснить тем, что при таянии льда выделяется пресная вода, которая имеет меньшую плотность, чем соленая. В результате холодные и соленые воды, как более плотные уходят вглубь, а более теплые и менее соленые приближаются к поверхности. Таким образом, изменяется положение постоянных течений воды. Известно, что плотность воды зависит как от ее температуры, так и от солености.

В связи с этим появилась перспектива более дешевого освоения СМП.

В течение сотен миллионов лет существования Земли климат резко менялся неоднократно. Об этом свидетельствует исчезновение нескольких цивилизаций [4, 5]. В настоящее время потепление климата пока идет эволюционными темпами. Его пытаются предотвратить путем запрещения использования ископаемых ресурсов. Однако не все государства с этим согласны. Кроме того, возможно и катастрофическое изменение климата за счет вторжения какого-либо астероида или массового извержения вулканов. Эти события практически невозможно предвидеть.

В Указах Президента РФ № 164 от 5.03.2020 и № 645 от 26.10.2020 поставлена задача до 2035 года более интенсивно осваивать просторы Арктики. Для этого требуется улучшение гидрометеорологического обеспечения Северного морского пути и освоение судоходства от Мурманска до Анадыря. Это касается не только строительства и развития комплексных аварийно-спасательных центров для ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения, но и освоения судоходства от Мурманска до Ана-

дыря. На этом пути уже создана сеть из 7 спасательных центров.

Подобными вопросами наша страна занимается уже более 80 лет. Тогда предпринимались попытки прохождения Северного морского пути за одну навигацию и тщательного изучения гидрометеорологических условий в этом регионе. Достаточно вспомнить организацию дрейфующей станции Северный полюс № 1, руководимой И.Д. Папаниным, и проведение на ней научных исследований.

В 1960-х годах академик М.И. Бudyко [2] предлагал с целью уменьшения ледового покрова в Арктике и улучшения проходимости судов по Северному морскому пути посыпать поверхность льда сажей или покрыть открытую поверхность воды тончайшей масляной пленкой. В первом случае резко уменьшится альbedo ледовой поверхности, а во втором – уменьшится испарение воды. В обоих случаях температура воды повысится и количество льда сократится.

Если тогда такие изменения температуры воды предлагалось сделать искусственно, то в настоящее время это происходит непреднамеренно. Действительно, ледовые и заснеженные поверхности загрязняются различными выхлопами из сажи и других темных веществ, что ослабляет их отражательную способность, а аварии на нефтедобывающих платформах, например, в Мексиканском заливе, приводят к покрытию поверхности воды тонкой нефтяной пленкой. Это уменьшает ее испаряемость. В итоге наблюдается таяние льдов и повышение температуры воздуха, а в целом потепление климата, особенно в высоких широтах [3].

Изменение климата в Арктической зоне происходит более быстрыми темпами, чем в целом на Земном шаре. Поэтому и новые опасности, связанные с изменением гидрометеорологических условий выражены ярче и способны скорее войти в реальность, чем в других районах. Поскольку шельф Арктических морей богат полезными ископаемыми интерес к более

благоприятным условиям их добычи продолжает усиливаться.

Современный этап глобального потепления климата начался в конце 1970-х годов. На это указывают данные наблюдений за приповерхностной температурой воздуха и температурой воды на поверхности океана, собранные в нескольких климатических центрах (CRU, Hadley Centre, NASA GISS и др.).

Обобщение данных наблюдений за приповерхностной температурой воздуха показывает наличие 2 периодов повышения полушарной и глобальной приповерхностной температуры воздуха: с 1910 по 1940-е гг. и с 1970-х годов (рис.1). В промежутке между этими периодами температура в целом понижалась. Сравнение изменений в разных широтных зонах Северного полушария показывает усиление потеплений в высоких широтах и более значительное понижение температуры здесь по сравнению с низкими широтами.

Global surface temperature (1880-2014)

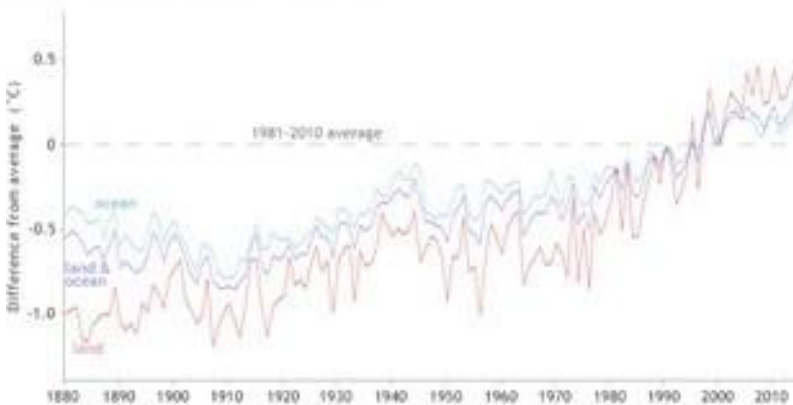


Рис. 1. Изменение разности температур от средней за период 1880-2014 г.г. над океаном (синий цвет), землей (красный цвет) и океаном-землей (фиолетовый цвет) [6].

Глобальный анализ температуры воды на поверхности океана с 1860 по 2000 также показывает 2 периода ее роста, разделенные понижением. Потепление в морской Арктике развивалось неравномерно и, в основном, с середины 1990-х годов. Предшествовавшие относительно теплые летние сезоны отмечались в 1960-е гг. На рис. 2 показано, как средняя температура воздуха 2014 года сравнивалась со средней за период 1981-2010 годов. Синим цветом показаны отрицательные разницы, багровым – положительные. Шкала от -4° до $+4^{\circ}$.

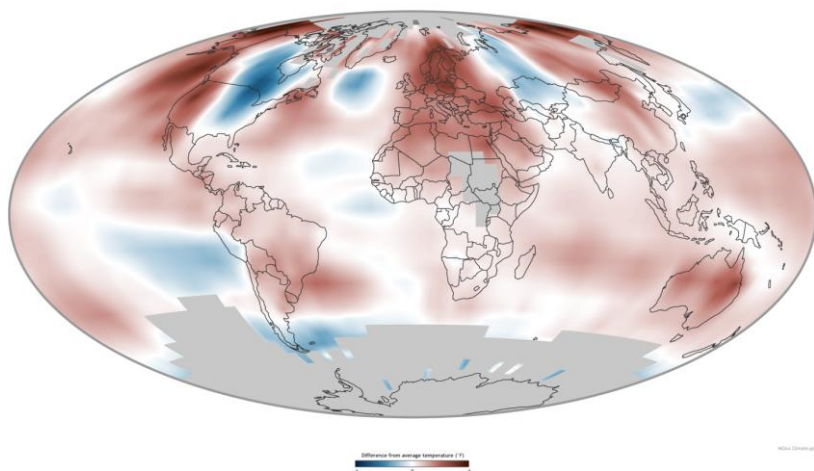


Рис. 2. Сравнение средней температуры воздуха 2014 года со средней за период 1981-2010 годов.

В холодный период года, продолжающийся в некоторых районах до 10 месяцев, часто проявляются неожиданные резкие изменения погоды, которые выражаются в снежных зрядах, туманах испарения и аэродромных (печных, возникающих за любым источником тепла), метелях и других гидрометеорологических опасных явлениях. Достаточно часто

наблюдаются образование трещин в ледовом покрове и его торошение. Из мезобиологических явлений следует отметить в теплый период года наличие над островами и сушей громадного количества комаров и мошек. Особенно в районе заболоченных территорий [1].

Это должно способствовать улучшению гидрометеорологических условий на СМП и более благоприятным условиям проводки судов по нему.

Движение к поставленной цели планируется проводить поэтапно, решая несколько стратегических задач:

- обеспечение грузоперевозок ледокольными судами, портами, навигацией, системами безопасности движения;
- развитие инфраструктуры, энергетики, связи и транспорта;
- строительство необходимых судов и промышленных предприятий.

Госкорпорацией «Росатом» подготавливается трехэтапный план развития инфраструктуры СПМ, чтобы синхронизировать процессы перевозки грузов, строительства портов и сооружение новых ледоколов.

Первый этап — это период до 2024 года, когда требуется достичь объема грузоперевозок в 80 млн тонн. В основном это будут перевозки в западном направлении СМП.

Второй этап – это период с 2024 по 2030 годы. В этот период начнется расширенная навигация в западном и в восточном направлениях. Первоначально загрузка СМП в восточном направлении оценивается в объеме до 20 млн тонн в год. Это сочетается с проектами компании «Новатэк» в области транспортировки сжиженного природного газа (СПГ).

Третий этап – это период после 2030 года. К этому времени будет построен и введен в эксплуатацию мощный атомный ледокол «Лидер», который даст возможность круглогодичной транспортировки грузов в первую очередь в восточном направлении. Это позволит решить задачу: по обес-

печению выхода наших углеводородов на рынки Азиатско-Тихоокеанского региона.

К этому времени появятся грузопотоки транспортировки сырой нефти из месторождений, расположенных на Ямальском и Гыданском полуостровах. По проведенным оценкам спрос на малосернистую северную нефть будет возрастать. Перекачка ее по трубам приведет к потере 20-30 долларов с тонны. Указанные финансовые средства окупят и транспортировку нефти судами и затраты на ледоколы.

По сути СМП — это русский путь в Китай, Индию и страны Азиатско-Тихоокеанского региона. К 2030 году «Росатом» должен доказать странам АТР, что СМП — это действительно стабильно работающая в тяжелых условиях международная судоходная трасса. С необходимой инфраструктурой, связью, портами, с проводками караванов ледоколами строго по графику, имеющая структуру по обеспечению безопасности судоходства и спасательных работ в случае аварий. В этом случае пойдут грузы из регионов стран, расположенных севернее корейского порта Пусан. Конечно же понятно, что не все поголовно суда из этой зоны пойдут по СМП. Судостроение для Арктики должно стать судостроением нового поколения. Должны быть построены большие корабли и мощные ледоколы. Это потребует огромных расходов. Один только ледокол «Лидер» будет стоить 127 млрд руб. с НДС. Под такое судно нужны значительные грузопотоки.

На западе от полуострова Таймыр будут работать четыре легких ледокола ЛК-40, которые «закроют» проводки в Карское море. Ледокол ЛК-40 с двухтопливной энергетической установкой (дизель + СПГ) имеет общую мощность 55 МВт. Закладка головного ледокола этой серии начата в 2019 году. В его основу положен разработанный финской проектной организацией «Aker Arctic Technology» специально для «Атомфлота» проект. Это будет 160-метровое судно с шириной до 31,5 метра и осадкой 8,5-9,5 метров. Ледокол на сжи-

женном природном газе и дизельном топливе сможет преодолевать льды толщиной до 2,85 метра.

На востоке от Таймыра будет работать действующий атомный ледокол «50 лет Победы». Вместе с ним будут осуществлять проводку судов три атомных ледокола «Таймыр», «Вайгач» и «Ямал», которым продлены сроки эксплуатации. Три новых атомных ледокола ЛК-60 (ледопроездимость 2,8-2,9 м), которые сейчас строятся, будут постепенно заменять более старые ледоколы.

К 2030 году планируется ввести в строй атомный ледокол «Лидер». Ледокол будет проводить караваны со скоростью не ниже 10-12 узлов (18,5-22,2 км/ч) в условиях 2-хметрового ледяного покрова. При его толщине около 4,3 м ледокол сможет осуществлять проводку судов на скорости 3 узла (5,6 км/ч).

В заключение следует сказать, что в настоящее время сложились условия, благоприятствующие успешному освоению СМП. Это проявляется как в строительстве ледоколов, в том числе атомных, так и в глобальном потеплении климата. Необходимо не упустить эту возможность.

Литература.

1. Акселевич В.И., Мазуров Г.И. Гидрометеорологические опасности Арктической зоны и изменение климата. LAP LAMBERT Academic Publishing RU. Beau Bassin 71504, Mauritius. 2018 – 55 p.
2. Будыко М.И. Некоторые пути воздействия на климат. Метеорология и гидрология. -№ 2. – 1962 – С.3-8
3. Будыко М.И. Тепловой баланс Земли. // Л.: Гидрометеоздат. 1978. – 46 с.
4. Динозавров погубил астероид? Чудеса и приключения», №5. – 2020 – С.6-8
5. Тропические Дебри Антарктиды. СПб. Ведомости. № 54. – 2020.
6. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/2014-state-climate-highlights> [Электронный ресурс] – Срок обращения 12.11.2021.

ОПЫТ ЗИМНИХ КОМПЛЕКСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА МОРСКИМИ ЭКОСИСТЕМАМИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

А.Д.Маховиков, Р.Е.Смагин, М.В.Иванов, Т.С.Иванова
Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Для губы Кереть и прилегающих акваторий Кандалакшского залива Белого моря впервые получены сведения о вертикальном распределении температуры и солёности вод, ледовому режиму, особенностях поведения сообществ рыб в конце зимы.

EXPERIENCE OF WINTER INTEGRATED HYDROLOGICAL AND ICHTHYOLOGICAL OBSERVATIONS OF MARINE ECOSYSTEMS IN THE KANDALAKSHA BAY, WHITE SEA

A.D. Makhovikov, R.E. Smagin, M.V. Ivanov, T.S. Ivanova
Saint Petersburg state university, St. Petersburg, Russia

For the Keret Bay and adjacent waters of the Kandalaksha Bay (White Sea), for the first time generalized data on the vertical distribution of water temperature and salinity, ice regime, and features of the behavior of fish communities at the end of the winter were obtained.

Гидрологический режим Кандалакшского залива Белого моря во многом определяется его географическим положением – большая часть его акваторий расположена в субполярном климатическом поясе. Сюда проникают солёные воды Баренцева моря, в холодный период года поверхность покрыта льдом, здесь хорошо выражены приливные явления, Кандалакшский залив является наиболее глубоководной частью Белого моря. В ряде мест, из-за пресноводного стока формируется двуслойная структура (распреснённый и солё-

ный слой). Такими районами являются устьевая область реки Кереть (губа Кереть) и прилегающие акватории (губа Чупа, Большой Керетский рейд (БКР) с проливами Сухая Салма и Большая Салма, а также пролив Глубокая Салма с губой Летняя (рис.1):

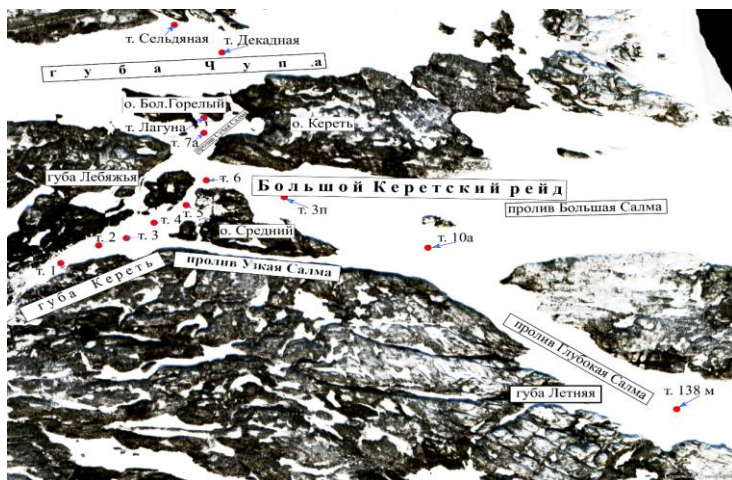


Рис.1. Губа Кереть с прилегающими акваториями (Кандалакшский залив, Белое море). Точками указаны места измерений в период с 11.03 по 14.03.2021г. (спутниковый снимок от 12.03.2020 Sentinel 2A).

Летний водный режим, включая особенности приливных явлений, сейчас хорошо изучен, благодаря исследованиям кафедры океанологии СПбГУ, выполняемых в ходе полевых практик студентов [2]. Однако, океанологическая информация по другим сезонам до последнего времени была весьма скудная. В марте 2020 г. были выполнены первые зимние измерения в устье реки Кереть, а год спустя удалось получить данные, описывающие особенности зимнего гидрологического режима и по другим акваториям. В ходе этих работ были получены вертикальные профили основных океа-

нологических величин (температура, солёность), а также сведения о ледовой обстановке. Кроме того, совместно с океанологическими наблюдениями проводился подлёдный лов рыбы на разных глубинах жаберными сетями с ячейей разного размера. Сети провешивались в толще воды и устанавливались на дно.

В губе Кереть двухслойная структура вод хорошо наблюдается и в зимний период. Можно выделить два слоя: верхний распреснённый с температурой от $-0,06$ до $-0,1^{\circ}\text{C}$ и глубинный холодный (температура понижается до $-0,4^{\circ}\text{C}$) солёный (до 26 psu). Однако, по сравнению с летом, толщина верхнего, распреснённого слоя достигает почти 1 м, а слой скачка солёности располагается на глубине 1,5 м (рис.2). Несколько иная ситуация наблюдается в проливе Сухая Салма (между о. Большой Горелый и о. Кереть) и в мелководной лагуне Колюшковой, в которой температура воды колеблется в пределах от $-0,8$ до $-1,0^{\circ}\text{C}$, немного повышаясь у дна. Лагуна Колюшковая отделена от моря каменистой косой, и водообмен осуществляется через узкий пролив во время высоких приливов.

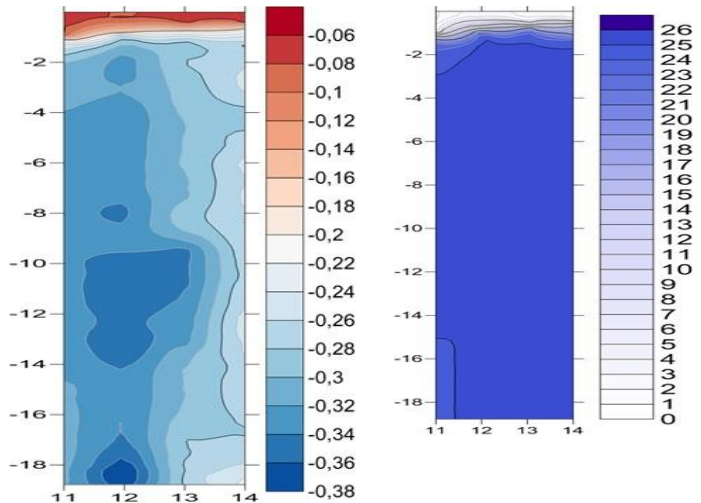
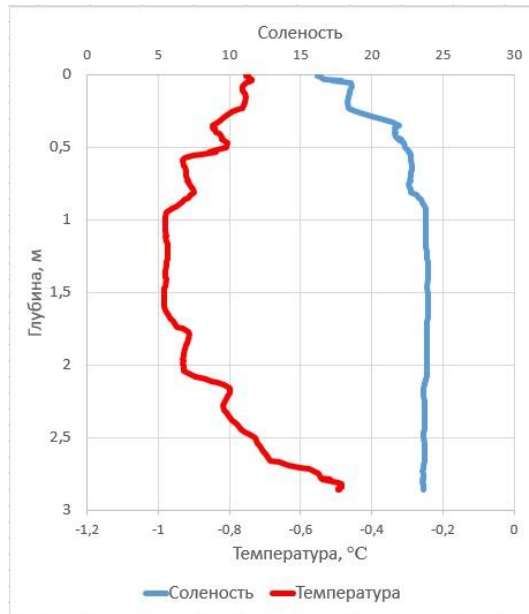
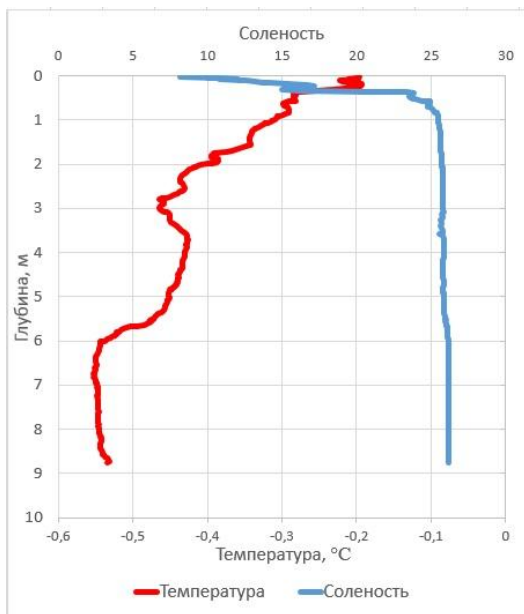


Рис.2.Временной ход температуры (°C) (слева) и солёности (psu) (справа), т.5, губа Кереть, 11.03.2021 – 14.03.2021.

Из-за такой изолированности зимой в лагуне была обнаружена трёхиглая колюшка (*Gasterosteus aculeatus*), которая массово нерестится в этой акватории летом [1], беломорская сельдь (*Clupea pallasii*), корюшка (*Osmerus mordax*), полярная камбала (*Liopsetta glacialis*). По-видимому, эти рыбы не смогли уйти из лагуны осенью, так как по результатам наблюдений, зимовка в таких неглубоких, промерзающих ниже 0°C водах не характерна для рыб в Белом море. В Сухой Салме температура воды с глубиной постепенно понижается -0,2 до -0,5°C. Верхний слой (до 0,5м) в лагуне осолоняется (16-22 psu), а в Сухой Салме диапазон изменчивости солёности шире (от 8 до 23 psu). Глубже доминируют морские воды с солёностью 24-26 psu (рис. 3).





*Лагуна
Против Сухая Салма*

Колушковая

(14:30,

12.03.2021)

(14:14, 12.03.2021)

Рис. 3. Вертикальное распределение температуры ($^{\circ}\text{C}$) и со-
лённости (psu) в лагуна Колушковая и
проливе Сухая Салма.

В губе Чула распреснённого слоя практически нет, зато на глубинах свыше 18 м наблюдается (по сравнению с верхними переохлаждёнными) более тёплая вода, до $+1^{\circ}\text{C}$ на 40 м. Схожее термическое распределение наблюдается в проливах Большая и Глубокая Салма. Однако здесь в верхнем слое, благодаря близости к устью реки Кереть, снова появляется распреснение. Вблизи губы Летняя было обнаружено, что

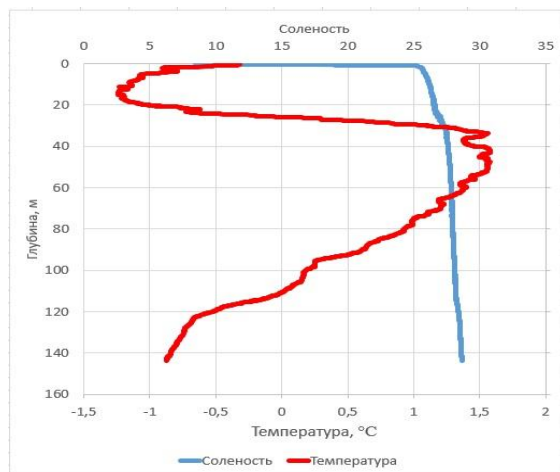
температура с глубиной (от 20 до 40м) растёт (с -1,3 до +1,5°C), а затем снова понижается до -0,8...-1°C. Верхний слой (до 0,5м) распреснён (солёность не более 22 psu), чего не наблюдается летом. Этот феномен можно объяснить тем, что лёд препятствует активному ветровому перемешиванию разнородных вод, позволяя речным водам относительно беспрепятственно продвигаться подо льдом в сторону открытого моря. Солёность вод с глубиной возрастает до 28 psu (рис.4):

Рис. 4. Вертикальное распределение температуры (°C) и солёности (psu), пролив Глубокая Салма, 13.03.2021, т. 138м.

Толщина льда в марте достигает 55 см, а самый тонкий лёд отмечается в районе с активной динамикой вод. Например, в т.6 (выход в море из губы Кереть) лёд всего лишь 30 см. Высота снежного покрова на льду в разных местах неодинакова, но в среднем 18-20 см. Иногда под снегом на льду обнаруживается вода, что можно объяснить её поступлением в результате приливного сжатия ледяного покрова.

Следует также отметить, что в зимнее время береговая полоса окрестных заливов повсюду покрыта цепью торосящихся льдин вследствие влияния прилива. В целом же, распределение форм льда определяется рельефом береговой зоны [3].

Распределение рыб в изученном районе в целом соот-



ветствовало зимнему вертикальному распределению температуры воды. Основные скопления были обнаружены на глубинах свыше 40 м, где температура воды превышала +1,0°C. В губе Чупа на дне на глубинах 40-60 м были обнаружены скопления зимующей беломорской сельди, часто попадались колючие скаты (*Amblyraja radiata*), бычки – керчаки (*Myoxocephalus scorpius*), мойва (*Mallotus villosus*). В проливе Глубокая Салма на глубинах 40-80 м в провешенные сети в больших количествах попадала мойва. На глубинах выше 40 м и ниже 80 м, где температура опускалась ниже 0°C рыба не встречалась, за исключением единичных поимок керчаков на глубинах 10-20 м.

Работа частично поддержана грантом Российского научного фонда (грант № 19-14-00092). Также авторы благодарят администрацию УНБ СПбГУ «Беломорская» за возможность работы в данном районе Кандалакшского залива Белого моря в зимний период.

Литература

1. Иванов М. В., Маховиков А. Д., Смагин Р.Е. Особенности гидрологии пролива Сухая Салма Белого моря. Труды 3-й Всероссийской конференции: Гидрометеорология и экология, достижения и перспективы развития. Санкт-Петербург: Химиздат, с. 599-603.
2. Ионов В.В., Май Р.И., Рубченя А.В., Смагин Р.Е. Гидродинамика полуизолированных приливных акваторий Кандалакшского залива Белого моря. В сборнике: Гидрометеорология и экология: научные и образовательные достижения и перспективы Труды Всероссийской конференции к 70-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки, доктора физико-математических наук, профессора Льва Николаевича Карлина. 2017., с. 242-245.
3. Романенко Ф.А., Репкина Т.Ю., Ефимова Л.Е., Булочникова А.С. Динамика ледового покрова на

приливных берегах Белого моря. Вестник МГУ. Сер.5.
География. 2012, №4, с. 61-66.

СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА НАУКАСТИНГА РАДИО- ЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСАДКОВ МЕ- ТОДАМИ TREC И DIS

Е.М. Ладохина, А.В. Кулюшина, И.М. Мартыновский
ООО «Микростеп-МИС», г. Санкт-Петербург, Россия

QUALITY COMPARISON OF TREC AND DIS METH- ODS FOR NOWCASTING OF RADAR PRECIPITATION CHARACTERISTICS

E.M. Ladokhina, A.V. Kulyushina, I.M. Martynovsky
LLC "Microstep-MIS", St. Petersburg, Russia

Сопоставлены оценки качества наукастинга алгоритмами TREC и DIS, в результате получены одинаковые результаты прогноза перемещения зон осадков в интервалах 30-40 минут. Скорость расчета алгоритмом DIS в 3-4 раза выше, чем COTREC.

Введение

За последние десятилетия было разработано множество методов наукастинга, которые можно разделить на две категории: определение векторов движения эхо-паттернов (пикселей яркости) и трекинг штормовых явлений (Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis, and Nowcasting – TITAN [1]). Первая категория методов в свою очередь делится на аналоговые, стохастические и локальные лагранжевы методы.

Данная работа посвящена сравнению алгоритмов наукастинга TREC (Tracking Radar Echoes by Correlation) и DIS (Dense Inverse Search-based method), которые относятся к аналоговому и локальному лагранжеву методам. Технология прогноза методом TREC реализована в информационной системе IMS4, являющейся продуктом компании MicroStep-MIS. Для получения результатов методом DIS использована его реализация «Dense» в рамках библиотеки RainyMotion на

Описание применённых методов

Основная цель методики TREC [2] – определить вектор смещения некоторой части сетки, ограниченной квадратом A , в момент времени $t-1$, как показано на рисунке 1 слева. Все точки b_{ij} , ограниченные подвижным квадратом B следующего изображения во времени t , сравниваются с фиксированным квадратом A первого изображения. Вектор смещения между точками центров квадрата A и наиболее похожего на него квадрата B сохраняется в центре квадрата A .

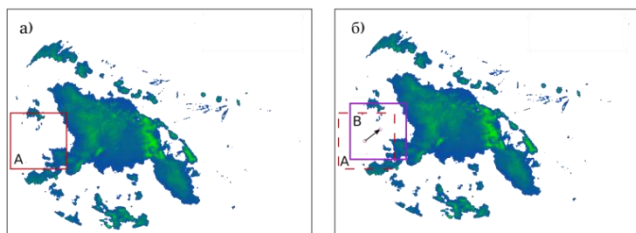


Рисунок 1. Определение вектора смещения по двум радиолокационным снимкам а) $t-1$, б) t

В качестве критерия подобия квадратов A , B используется коэффициент взаимной корреляции R в виде [3]:

$$R(A, B) = \frac{\sum(a_{ij} - \langle A \rangle)(b_{ij} - \langle B \rangle)}{\sqrt{\sum(a_{ij} - \langle A \rangle)^2 \cdot \sum(b_{ij} - \langle B \rangle)^2}}$$

где A , B обозначают двумерные массивы данных изображений в сроки $t-1$ и t , соответственно; $\langle \dots \rangle$ – среднее значение массива.

TREC не позволяет определять векторы смещений в пустых частях изображения. Чтобы определить массив векторов по всему изображению, был применен метод COTREC [3] (COntinuity of TREC vectors), который позволяет сглаживать смещения в точках изображения, за счет чего происходит

корректировка шумов и нестыковок и уменьшается расходимость результирующего векторного поля. В этом методе сглаживания значения точек изображения определяются как линейная комбинация значений скалярных переменных в области сглаживания. Для сглаживания была применена схема Крессмана, которая имеет вид:

$$u_{ij} = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n h_{kl} \vec{u}_{kl},$$

где u_{ij} – интерполяционная точка; h_{kl} – скалярный весовой коэффициент в точке kl ; \vec{u}_{kl} – значение смещения в точке kl , полученное с помощью ТРЕС; n – размер окна интерполяции.

В библиотеке **RainyMotion** [3] объединены реализации сразу нескольких методов наукастинга, которые относятся к группе локальных лагранжевых методов и состоят из двух вычислительных этапов: отслеживания и прогнозирования (экстраполяции). Один из наиболее известных методов отслеживания называется «оптическим потоком» (ОП), так как первоначальный термин был основан на идее отслеживания видимых камерой или наблюдателем изменений паттернов яркости. Сегодня под «оптическим потоком» понимают группу методов для получения модели движения или поля скорости из серии последовательных изображений. Оценка поля скорости возможна, если принято предположение о постоянстве яркости и дополнительное предположение из набора ограничений ОП. На основе пространственной применимости ограничений ОП выделяют две категории моделей: локальные (дифференциальные) и глобальные (вариационные). В локальных моделях ограничения ОП налагаются только в некоторой окрестности, в то время как в глобальных моделях ограничения ОП применяются ко всему изображению.

Локальная модель ОП в *Rainymotion* представлена алгоритмами SparseSD и Sparse. В алгоритме SparseSD используются только два последних радиолокационных изображения

для идентификации, отслеживания и экстраполяции элементов. В алгоритме Sparse реализована возможность использования до 24 недавних радиолокационных изображений, если требуется прогноз только наиболее устойчивого переноса, который сохраняется в течение всего периода.

Глобальная модель ОП реализована в алгоритмах Dense и DenseRotation. Они имеют одинаковую процедуру отслеживания (используются два последних радиолокационных изображения) и различаются только методами экстраполяции: для Dense это схема адвекции постоянного вектора, для DenseRotation – полулагранжева схема адвекции. Основное различие между подходами состоит в том, что схема постоянного вектора не позволяет представить вращательное движение; полулагранжева схема допускает крупномасштабное вращательное движение в предположении, что само поле движения является постоянным.

Описание условий расчета

В расчетах были использованы радиолокационные данные для теплого сезона года (с апреля по сентябрь) за период 2016-2020 гг. Использованный для измерений метеорологический радар MMR-116 имеет следующие характеристики: максимальное расстояние до цели – 200 км, количество измерений на один луч – 333, шаг измерений в луче – 600 м, количество лучей на один угол сканирования – 183, количество углов сканирования – 15. Место расположения радара г. Голешов, Злинский край, Чешская Республика. С целью исключения из анализа множества "пустых изображений" (например, во время ясных погодных условий), входные данные были отфильтрованы по наличию конвективных ситуаций, когда величина отражательной способности хотя бы одного пикселя на снимке превышала значение 40 дБ.

Для оценки успешности прогноза изменения радиолокационных данных используются бинарные статистики CSI (Critical Success Index - индекс успешности прогноза), FAR

(False Alarm Ratio показатель ложных тревог), POD (Probability Of Detection вероятность обнаружения). Напомним, что, согласно [4], если $(A+C)$ – контур прогноза, а $(A+B)$ – контрольный контур, то верификационные статистики определяются как:

$$CSI=A/(A+B+C); FAR=C/(C+A); POD=A/(B+A),$$

где A – контур попадания; B – контур пропуска; C – контур ложного попадания

Результаты

На первом этапе был выбран лучший алгоритм наукастинга библиотеки RainyMotion путем сопоставления бинарных статистик прогнозов за период с апреля по сентябрь 2018 г. Поскольку интервалы поступления фактических данных радиолокационной отражаемости были не одинаковы, сверхкраткосрочный прогноз рассчитывался с использованием 2-х снимков в моменты времени t и $t-1$. По причине неравномерности временных интервалов из оценки был исключён метод Sparse, требующий использования более 3-х последовательных радиолокационных снимков. Таким образом, проводилось сравнение алгоритмов SparseSD и Dense.

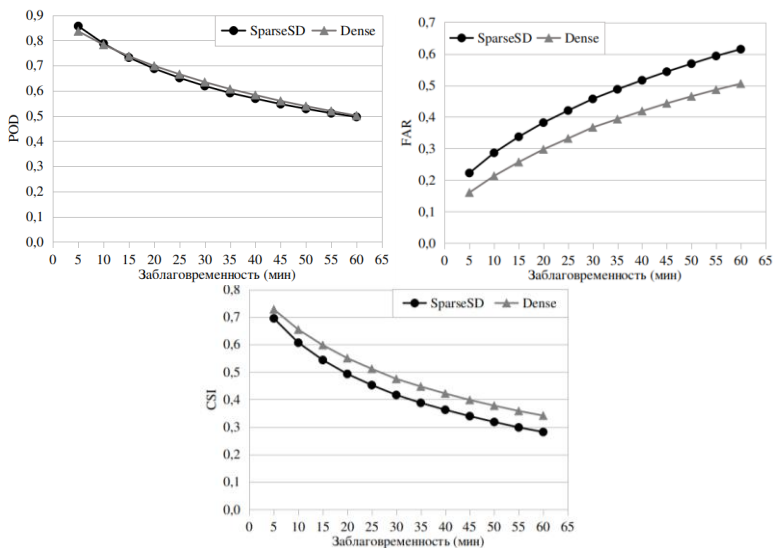


Рисунок 2. Осредненные за год оценки качества прогнозов для статистик
а) POD, б) FAR, в) CSI

Результаты сопоставления бинарных статистик, осредненных за весь выбранный период, приведены на рис. 2. Разница в прогнозах наиболее заметна при анализе показателя ложных тревог: в среднем алгоритм Dense на 10% точнее прогнозирует положение зоны осадков, чем алгоритм SparseSD, при этом с момента времени $t+1$ до $t+12$ ошибка прогноза алгоритмом SparseSD растёт быстрее на 5%, чем алгоритмом Dense. Оба алгоритма практически одинаково хорошо обнаруживают зону осадков (разница составляет менее 1%), при этом к моменту времени $t+12$ только половина области осадков остаётся правильно спрогнозированной в пространстве. Индекс успешности прогноза метода Dense также выше, чем метода SparseSD в среднем на 6%. Таким образом, для срав-

нения с алгоритмом COTREC был выбран алгоритм Dense из библиотеки RainyMotion.

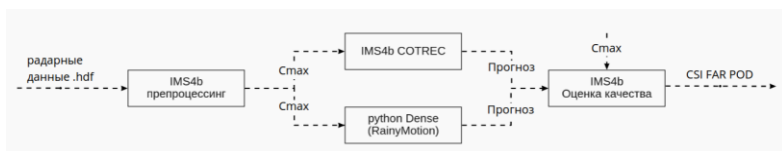


Рисунок 3. Схема оценки качества прогноза методами COTREC и Dense

Расчетная схема, реализованная в данной работе, показана на рисунке 3. Входные радиолокационные данные поступали в систему IMS4, обрабатывались препроцессором и генерировалась характеристика максимальной отражательной способности по вертикали C_{MAX} (Column Maximum). Далее с помощью двух методик COTREC (IMS4) и Dense (RainyMotion) производился расчет краткосрочного прогноза характеристики C_{MAX} на 40 минут вперед с шагом 5 минут. Полученные прогностические «Прогноз» значения C_{MAX} сравнивались со значениями C_{MAX} , соответствующими историческим радиолокационным данным.

После проведения расчетов были созданы графики для статистик CSI, FAR и POD, осредненных за 2016-2020 гг. (рис. 4). Согласно графикам, качество прогноза положения зон осадков, соответствующих значениям C_{MAX} , получилось практически одинаковым вне зависимости от выбора алгоритма COTREC или Dense. В среднем на момент времени $t+1$ порядка 81% области осадков прогнозировалось верно, а 18% области осадков прогнозировалось там, где их фактически не было; индекс успешности прогноза алгоритма COTREC был на 0,6% выше, чем алгоритма Dense и составил 70,6%. На момент времени $t+8$ в среднем только 50% зоны осадков прогнозировалось верно, процент ложных тревог составил 48,5% для алгоритма Dense и 48,9% для COTREC. Общее качество

прогноза ухудшилось до 35% (алгоритм COTREC оказался лучше на 0,3%).

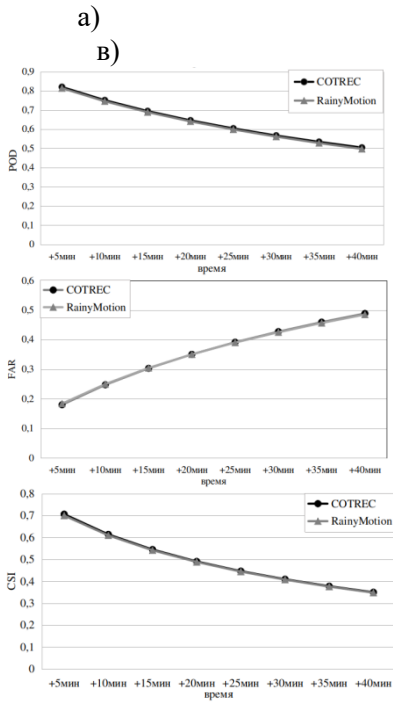


Рисунок 4. Качество прогноза S_{MAX} методами TREC и RainyMotion по результатам расчета статистик а) POD б) FAR в) CSI за 2016-2020 гг.

Выводы

Анализ коэффициентов CSI, FAR и POD показал, что реализации методов COTREC в рамках IMS4 и DIS в рамках RainyMotion-Dense позволяют получить приемлемые и одинаковые результаты прогноза перемещения зон осадков в интервалах 30-40 минут. Замечено, что алгоритм Dense в 3-4

раза быстрее по сравнению с реализацией метода COTREC. Тем не менее, реализация метода COTREC в системе IMS4 поддерживает достаточно широкий спектр функций для обработки радиолокационной информации, таких как чтение и фильтрация входных данных радара, конвертирование в форматы NetCDF, HDF, CSV, расчёт радарных характеристик, визуализация и сохранение результатов. Библиотека RainyMotion не поддерживает подобных функций без дополнительных программных инструментов, а качество прогноза алгоритмом Dense не превосходит COTREC. Поэтому дальнейшие работы по улучшению качества сверхкраткосрочного прогноза будут проводиться с использованием алгоритма COTREC. Перспективным представляется использование технологий искусственного интеллекта для повышения точности и производительности реализации COTREC метода в системе IMS4.

Литература

1. Bjerkaas C. L., Forsyth D. E. Real-time automotive tracking of severe thunderstorms using Doppler weather radar // Bulletin of the American Meteorological Society, T60, №5, 1979. - С.573–576
2. Laroche S., Zawadzki I. Retrievals of Horizontal Winds from Single-Doppler Clear-Air Data by Methods of Cross Correlation and Variational Analysis // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, T12, №4, 1995. - С.721–738
3. Ayzel, G. et al. Optical flow models as an open benchmark for radar-based precipitation nowcasting (rainymotion v0. 1) // Geoscientific Model Development, T12, №4, 2019. - С.1387–1402
4. Hamill T.M., Neerhorn T. A Short-Term Cloud Forecast Scheme Using Cross Correlations // Weather and Forecasting, , T8, №4, 1993. - С.401–411

СВЕРХКРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ И ДИАГНОЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ.

Михайловский Ю.П.¹, канд.физ.-мат.наук, Синькевич А.А.¹, д-р техн.наук,
Абшаев А.М.⁴, д-р . физ.-мат.наук, Аджиев А.Х.², д-р . физ.-мат.наук, Торопова М.Л.¹, Геккиева Ж.М.², 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

Совершенствование методов сверхкраткосрочного прогноза и диагноза электрической активности конвективных облаков является актуальной и практически значимой задачей. Использование современных радиолокаторов с автоматизированными системами обработки и анализа получаемой информации позволяют использовать значительно более сложные критерии и алгоритмы сверхкраткосрочного прогноза и диагноза электрического состояния конвективных облаков, чем критерий грозоопасности Y. Представлены результаты исследований статистических связей некоторых радиолокационных параметров с частотами молний. Показано, что наиболее тесные связи наблюдаются с параметрами, характеризующими количество крупных ледяных частиц в облаке.

ULTRA-SHORT-TERM PROGNOSIS AND DIAGNOSIS ELECTRICAL ACTIVITY OF CONVECTIVE CLOUDS

Mikhailovsky Yu.P.¹, Cand.Sc., Sinkevich A.A.¹, Dr.Sc., Abshayev A.M.⁴, Dr.Sc.,

Adjyev A.H.², Dr.Sc., Toropova M.L.¹, Gekkieva G.M.², Kashleva L.V.³, Cand. Sc.

¹ FGBU "MGO them. A.I. Voeikov ", St. Petersburg, Russia;

² FGBU VGI, Nalchik, Russia;

³ RSHU, St. Petersburg, Russia.

⁴ NPC "Antigrad", Nalchik, Russia;

Improving the methods of ultra-short-term prediction and diagnosis of electrical activity of convective clouds is an urgent and practically significant task. The use of modern radars with automated systems for processing and analyzing the received information makes it possible to use significantly more complex criteria and algorithms for the ultra-short-term prediction and diagnosis of the electrical state of convective clouds than the criterion of lightning hazard Y. The results of studies of statistical relationships of some radar parameters with lightning frequencies are presented. It is shown that the closest connections are observed with the parameters characterizing the number of large ice particles in the cloud.

Электрические явления в облаках принадлежат к числу наиболее опасных явлений погоды (ОЯП). Экспериментальным исследованиям процессов электризации конвективных облаков посвящено большое количество статей у нас в стране и за рубежом [1,2,4,7,10,14-19]. Практически каждое исследование представляет собой попытку построения фрагмента эмпирической модели, которые и являются основой прогноза и диагноза [8,13,20]. Эти исследования часто существенно различаются используемыми средствами контроля, контролируемые параметрами, методиками контроля и анализа, условиями развития облаков, регионами исследований и другими факторами [1,7, 11,12,13,15,16]. ГГО им. А.И. Воейкова вместе с коллегами из ВГИ представляют результаты исследований развития процесса электризации конвективных облаков. Сделаны попытки выявления общих закономерностей связей электрических и радиолокационных параметров и начала молние-

вой активности [8,9,13,20].

Анализ связей радиолокационных и электрических параметров.

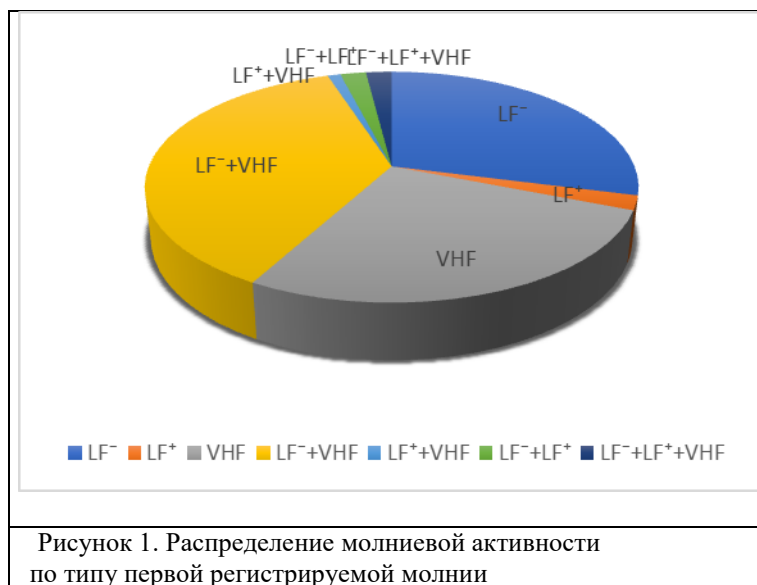
На экспериментальных данных об облаках, развивавшихся в Северо-Кавказском регионе, проводится анализ результатов непрерывных наблюдений с помощью двухволнового метеорологического радиолокатора МРЛ-5, оснащенного автоматизированной системой сбора, обработки и анализа радиолокационной информации и грозопеленгационной системы (ГПС) LS-8000[2,3,7,10]. ГПС фиксирует молнии в 2-х диапазонах волн: длинноволновом (LF) и сверхкоротковолновом (VHF). Считается, что в LF регистрируются в основном (70%) разряды «облако – земля» (О - З), а в VHF все молнии, включая внутриоблачные [3,7,10].

В работах [7,8,20] предлагается использовать интегральные радиолокационные параметры, характеризующие количество крупных ледяных частиц в облаке, для диагноза электрического состояния облака. К таким параметрам относится объем или масса переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 - 60 δBZ (dV_{35} , $км^3$, dM_{35} , т.), поток осадков (G , $м^3/сек$), вертикально интегрированная водность или ледность (q , $dq(0)$, $кг/м^2$), радиолокационный критерий грозоопасности (Y), максимальная интенсивность осадков (I_m , $мм/час$) и др.

Для значительной выборки (100 облаков) были определены статистические связи частоты разрядов в VHF и LF диапазоне с объемами и массами переохлажденной части с различной отражаемостью (от 15 до 70 δBZ) и другими параметрами облаков. Построены уравнения линейной регрессии и коэффициенты корреляции(r). Получено, что максимальные коэффициенты корреляции (от 0.63 до 0.87) наблюдаются для параметра dV_{35} . Важным фактором, влияющим на взаимосвязь характеристик облака, является период его существования, состоящий из стадий развития, зрелости и разрушения. Для

целей сверхкраткосрочного прогноза особый интерес представляет стадия развития [7]. В случае рассмотрения только периодов роста и зрелости облака, τ может возрастать до 0.94. Причем τ молний, регистрируемых в LF диапазоне в среднем больше, чем для молний в VHF.

Следующей задачей был поиск наиболее информативных параметров, позволяющих с максимальной достоверностью разделить облака, находящиеся на догрозовой стадии и грозы, т.е. облака, в которых зафиксирована хотя бы одна молния. На Рисунке 1 представлено распределение облаков, переходящих в грозовое состояние по типу первой регистрируемой молнии за время р/л обзора (3.3 минуты). Как видно, у примерно трети облаков гроза начинается с молний O – 3, что свидетельствует о том, что в VHF диапазоне фиксируются не все молнии.



С помощью непараметрического критерия Уилкоксона была проанализирована значимость различия выборок 26 р/л па-

раметров облаков на 2-х предгрозовых и грозовом сканах. Наименьшие значения p -value, характеризующие степень различия выборок, были получены для массы и объема всего облака и части облака выше изотермы 0°C с отражаемостью более 15–35 dBZ, соответственно dM и dV . Что подтверждает развиваемую в ГГО гипотезу о решающей роли крупных ледяных частиц в электризации конвективных облаков [5,6,20]. У критерий, который в настоящее время активно используется в России как критерий грозоопасности, оказался менее чувствительным к переходу облака в грозовую стадию, чем некоторые параметры, связанные с объемом и интегральным водосодержанием объема переохлажденной части (dM и dV) [7,20]. Это следует из сравнительного анализа p -value у этих характеристик. Похожие выводы были получены и ранее при детальном комплексном исследовании развития отдельных грозоградных облаков и облаков с водяными смерчами, где проводился сравнительный корреляционный анализ временных рядов Y и dV_{35} с частотой разрядов молний [7-10].

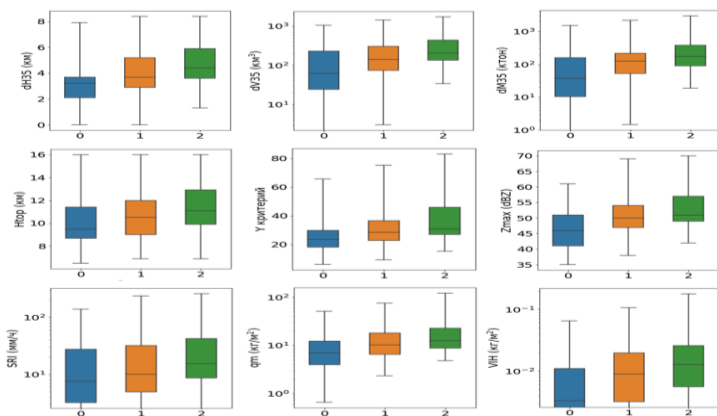


Рисунок 2. Диаграмма «ящик с усами» сравнения выборок радиолокационных характеристик для трех сканов радиолокатора: dV_{35} , dM_{35} , Y критерий, Z_{max} , VIH , H_{top} , SRI, VIH , $H_{Z_{max}}$, «Ящик» определяет

положение квантилей 25% и 75%, линия внутри ящика – медиана, «усы» обозначают минимальное и максимальное значение в выборке.

Параметры dV_{35} , dM_{35} , SRI , VIL и VIH представлены на логарифмической шкале. На оси абсцисс: 0 – за 8 мин до первых разрядов, 1 – за 4 мин до первых разрядов, 2 – в момент первых разрядов. Рисунок 2 подтверждает выводы, сделанные ранее. У всех приведенных параметров наблюдается тенденция увеличения квантилей 25%, 75% и медианы при переходе облаков в грозовую стадию. Это указывает на то, что выбранные облака, в момент возникновения в них первых молниевых разрядов, в основном имели тенденцию к развитию. Стоит выделить величины dV_{35} , dM_{35} , SRI , VIL и VIH , у которых распределения имеют выраженную левостороннюю асимметрию.

Несмотря на то, что выборки представленных параметров для -4 и 0 мин статистически различимы ($p\text{-value} < \alpha$), они имеют достаточно заметное пересечение (рис. 2). У распределений для -8 и 0 мин пересечения меньше. Распределения параметров, представленные на рисунке 2, говорят о том, что по отдельным радиолокационным параметрам, которые представлены в данном исследовании, достоверно отделить облака с молниями и без них непросто. При одинаковых параметрах конвективного облака мы наблюдали как отсутствие, так и наличие молний. Но уже на данном этапе исследований можно определить вероятность того, что конкретное значение конкретного параметра, полученное АМРК «АСУ-МРЛ», принадлежит «грозовой» или «догрозовой» выборке. По соотношению этих вероятностей можно оценивать «грозоопасность» облака на данном этапе развития. Дальнейшее развитие эмпирической модели предполагается в направлении поиска и исследования новых факторов или одновременного рассмотрения совокупности факторов с использованием современных методов многопараметрической статистики, позволяющих более надежно выделять переход облака в грозовую стадию.

Выводы

Анализ связей радиолокационных параметров, определяющих осадкообразование с электрическими характеристиками для выборки из 100 облаков показал, что они достаточно тесно связаны друг с другом для облаков Северного Кавказа, в частности частоты молний в LF и VHF диапазонах коррелируют с объемом переохлажденной части с отражаемостью более 35 дБЗ с $r = 0.8 - 0.95$. Что подтверждает развиваемую в ГГО гипотезу о решающей роли крупных ледяных частиц в электризации конвективных облаков.

Работа подготовлена при финансовой поддержке РФФИ, грант БРИКС_т 18-55-80020.

Список используемых источников

1. А. А. Синькевич, Ю. П. Михайловский, М. Л. Торопова, В. Б. Попов, Д. С. Старых, Ю. А. Довгалюк, Н. Е. Веремей Структура грозового облака со смерчем и зависимость частоты молний от его характеристик. // «Оптика атмосферы и океана», 33. № 09, (2020) С. 705-709, DOI: 10.15372/AOO20200907
2. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Аджиев А.Х., Садыхов Я.А., Чочаев А.Б., Синькевич А.А., Михайловский Ю.П. Анализ развития и взаимодействия ячеек в грозоградовых облаках Труды ГГО им. А.И. Воейкова. 2017. № 586. С. 93-116.
3. Аджиев А. Х., Тапасханов В. О., Стасенко В. Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе. — Метеорология и гидрология, 2013, №1, с. 5—11.
4. В.Б. Попов, А.А. Синькевич, Дж. Янг, Ю.П. Михайловский, М.Л. Торопова, Ю.А. Довгалюк, Н.Е. Веремей, Д.С. Старых Характеристики и структура кучево-дождевого облака с водяным смерчем над Финским заливом Метеорология и гидрология, 2020г, №9, с 5-16.
5. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П., Михайловский В.Ю. Механизмы электризации облачных гидрометеоров в грозовых облаках. [Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета](#). 2016. № 45. С. 119-131.
6. Л.В. Кашлева, Ю.П. Михайловский Атмосферное электричество. (2019), РГГМУ, Санкт-Петербург, 226 стр

7. Михайловский Ю.П., А. А. Синькевич, С. Д. Павар, В. Гопалакришнан, Ю. А. Довгалюк, Н. Е. Веремей, Е. В. Богданов, А. Б. Куров, А. Х. Аджиев, А. М. Малкарова, А. М. Абшаев. Исследования развития грозо-градового облака. Часть 2. Анализ методов прогноза и диагноза электрического состояния облаков. — *Метеорология и гидрология*, 2017, № 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.83-105
9. Михайловский Ю.П., Торопова М.Л., Веремей Н.Е., Довгалюк Ю.А., Синькевич А.А., Янг Дж., Лу Дж. Динамика электрической структуры кучево-дождевых облаков // *Изв. вузов. Радиофизика*. 2021. Т. 64, № 5. С. 341–353.
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.
11. Синькевич А.А., Попов В.Б., Тарабукин И.А., Дорофеев Е.В., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Михайловский Ю.П., Снегуров В.С., Снегуров А.В. Изменения характеристик конвективных облаков и выпадающих осадков при слиянии облаков. *Метеорология и гидрология*. 2018. № 8. С. 19-32.
12. A.O. Fierro, J.M. Reisner, X-M. Shao, T. Hamlin and J. Harlin. Observations and high-resolution simulation of total lightning during the rapid intensification of Hurricane Rita. XIV International Conference on Atmospheric Electricity, August 08-12, 2011, Rio de Janeiro, Brazil
13. Andrei Sin'kevich, Bruce Boe, Sunil Pawar, Jing Yang, Ali Abshaev, Yulia Dovgaluk, Julduz Gekkieva, Venkatachalam Gopalakrishnan, Alexander Kurov, Yurii Mikhailovskii, Marina Toropova and Nikolai Veremei. Features in Different Regions Investigation of Thundercloud. *Remote Sens.* 2021, 13(16), 3216; doi:10.3390/rs13163216
14. Armstrong R. W., Glenn J. G. Electrical Role for Severe Storm Tornado genesis (and Modification) // *J Climatol Weather Forecasting*. 2015. V. 3 Issue 3. P. 1–8.
15. M. Sato, Yu. Takahashi, H. Kubota, K. Yamashita, J. Hamada, and J. Marciano .Development of Lightning Observation Network in the

Western Pacific Region for the Intensity Prediction of Severe Weather and Tropical Cyclone. XVI International Conference on Atmospheric Electricity, 17-22 June 2018, Nara city, Nara, Japan.

16. *S.M. Stough, L.D. Carey, C.J. Schultz.* Total Lightning as an Indicator of Mesocyclone Behavior. XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, U.S.A.

17. *MacGorman D.R., Rust W.D.* The electrical nature of storms. Oxford University Press, New York. 1998. 534 p.

18. Qie X.S., Zhang Y., Yuan T., Zhang Q., Zhang T., Zhu B., Lu W., Ma M., Yang J., Zhou Y. and Feng G. A review of atmospheric electricity research in China. *Adv. Atmos. Sci.* 32(2). 2015. P. 169–191. doi: 10.1007/s00376-014-0003-z.

19. Liu C., Cecil D. J., Zipser E. J. et al. Relationships between lightning flash rates and radar reflectivity vertical structures in thunderstorms over the tropics and subtropics. *J. Geophys. Res.* Vol. 117. 2012. D06104

20. *Y P Mikhailovskii, A A Sin'kevich, A M Abshaev, J M Gekkueva* Empirical model of the development of electrification process in convective clouds August 2021 IOP Conference Series Earth and Environmental Science 840(1):012018 All-Russian Open Conference on Cloud Physics and Weather Modification 8-10 September 2021, Nalchik, Russian Federation, DOI: [10.1088/1755-1315/840/1/012018](https://doi.org/10.1088/1755-1315/840/1/012018)

СУБМАРИННАЯ РАЗГРУЗКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРЕЙ (НА ПРИ- МЕРЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ)

Г.С. Михневич¹, В.А. Кречик², А.В. Крек², А.Р. Данченков²

¹Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Кали-
нинград, РФ

²Институт океанологии РАН им. П.П. Ширшова, Москва, РФ

*Выполнен обзор работ, посвященных трансформации мор-
ских экосистем под влиянием субмаринной разгрузки подзем-
ных вод. Предварительно оценены масштабы поступления
тяжелых металлов и биогенных элементов с субмаринной
разгрузкой*

SUBMARINE DISCHARGE OF GROUNDWATER AS SOURCE OF POLLUTION OF THE SEAS (BY THE EX- AMPLE OF THE SOUTHEASTERN BALTIC)

G.S. Mikhnevich¹, V.A. Krechik², A.V. Krek², A.R.
Danchenkov²

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

A review of works devoted to the transformation of marine ecosystems under the influence of submarine discharge of groundwater is made. The scale of the intake of heavy metals and nutrients from submarine unloading was preliminary estimated.

Введение. Субмаринная разгрузка подземных вод представляет собой повсеместный процесс, характерный для шельфов морей и океанов [16]. Подземные воды обладают самыми разнообразными физическими (прозрачность, температура, соленость, радиоактивность) и химическими (широкий спектр растворенных соединений) параметрами, отличающимися от характеристик морских вод. Кроме того, подземные воды питающиеся и распространяющиеся в пределах промышленных и аграрных территорий часто подвергаются загрязнению, и потому могут служить средством транспортировки поллютантов в моря. Изменения характеристик придонных вод или донных отложений под действием субмаринной разгрузки должны отражаться на бентических сообществах. До настоящего времени значительные исследования влияния субмаринной разгрузки на экологическую обстановку проводились на Балтике в заливе Эккернфёрде (Германия) [4,7,10], в Пуцкой бухте (Польша) [8, 12-15], Финском заливе [17]. Подобная работа для российской акватории ранее не выполнялась.

Субмаринная разгрузка как источник загрязняющих веществ. Субмаринная разгрузка играет значительную роль в

поступлении углерода, тяжелых металлов, биогенных элементов, ксенобиотиков в Мировой океан и Балтийское море. В некоторых случаях можно говорить о равнозначных масштабах поступления поллютантов с субмаринной разгрузкой и традиционных источников - речного стока и атмосферного переноса. Между тем, процесс субмаринной разгрузки нельзя рассматривать как простое «перетекание» веществ из подземных горизонтов в морскую среду. На контакте двух водных масс возникает геохимический барьер, на котором происходят реакции абсорбции, коагуляции, осаждения [5, 11]. В результате этих процессов поток веществ из подземной гидросферы может уменьшаться по объему. Помимо прямого стока в системе взаимодействия подземных и морских вод важную роль играет рециркуляция - проникновение морских вод в водоносные горизонты и затем их сток обратно в море. Хотя сброс рециркуляционных вод может иметь даже большее значение с точки зрения переноса веществ через границу «суша-море», его последствия учитываются крайне редко.

Разгрузка подземных вод наряду с речным стоком является для южной части Балтийского моря важным источником Cd, Co, Cr, Mn и Zn. Одной из наиболее изученных акваторий Балтики является Пуцкий залив. Потоки металлов, поступающих в Пуцкий залив с подземными водами, составляют 70% от общей годовой величины поступления металлов с речными водами для Pb, 93% для Cd, 80% для Co, 66% для Mn, 6% для Cu, 4% для Ni, 93% для Zn и 91% для Cr [15]. Например, для Пуцкого залива получены следующие оценки поступления тяжелых металлов с подземными водами: Pb — 7,3; Cd — 8,5; Co — 15,4; Mn — 4381,3; Cu — 1,2; Ni — 9,4; Zn — 655,9; Cr - 28,7 кг/г [15]. Подземные воды также служат значимым источником поступления биогенных элементов в воды Пуцкого залива [12, 14]. Субмаринная разгрузка дает 56 т (23%) фосфатов, атмосферный перенос – 18 т (7%), речной сток 70 т (29%), вторичное взмучивание 97 т (41%) [12]. Доля общего азота, поступающего с подземным стоком (5 т - 3%),

менее значительна в сравнении с другими источниками: атмосферный перенос – 485 т (31%), речной сток - 220 т (14%), вторичное взмучивание - 825 т (52%). В более поздних работах [14], были оценены потоки биогенных веществ включающие как разгрузку с пресными подземными водами, так и разгрузку с рециркулируемой морской водой. Расчетные объемы субмаринной разгрузки как растворенного неорганического азота (9303 т/год), так и PO_4^{3-} (950 т/год) были наиболее значительным источником биогенных веществ в Пуцком заливе и заметно выше, чем ранее полученные оценки [14]. Прогнозы указывают на значительный вклад субмаринной разгрузки в общее поступление фосфора в Балтийское море (21%); для азота этот вклад оценивается в примерно 1% [12]. Кроме того, указывается на обогащение подземных вод, разгружающихся в Пуцкую бухту, фармацевтическими препаратами [13].

Транспорт тяжелых металлов и биогенных элементов с подземным стоком с территории Калининградской области. Анализ геолого-гидрогеологических условий показал, что субмаринная разгрузка в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря осуществляется из палеогеновых (олигоцен-плиоценовый и палеоцен-эоценовый), меловых (кампан-маастрихтский и апт-сеноманский) и юрских (оксфорд-титонский и геттангско-батский) водоносных горизонтов [1]. Наиболее масштабен сток из верхнемелового (кампан-маастрихтского) и палеоцен-эоценового водоносных горизонтов. Величина стока подземных вод из этих водоносных горизонтов с территории Калининградского п-ова в прибрежные воды Балтики составляет по предварительным оценкам более 40 тыс $\text{м}^3/\text{сутки}$ ($0,015 \text{ км}^3/\text{год}$), ионный сток - 24,5 т/сутки [1]. В основу расчетов потока тяжелых металлов были положены объемы субмаринной разгрузки из палеоцен-эоценового и кампан-маастрихтского водоносных горизонтов

[1] и результаты их гидрохимических исследований [3]. Использовались средние значения концентраций элементов (Pb, Cd, Co, Mn, Cu, Ni, Zn, Cr, Fe, As и Hg).

Следует отметить, что содержание Pb, Co, Mn, Fe в водах Гданьского залива на два порядка, Cu - на порядок больше, чем их кларковые весовые значения, рассчитанные для Мирового океана [2]. Кроме того, также содержание Mn и Fe в подземных водах на 3 порядка, Pb, Co - на два порядка, Cu, Ni, Cr на порядок выше, чем их кларковые значения для Мирового океана [2]. Концентрации некоторых элементов в подземных водах значительно превышают их содержание в водах Гданьского залива: Fe на порядок, Zn и Mn – в 4 раза, Ni в 3-4 раза, Pb – в 2 раза. Содержание Hg и As в водах Гданьского залива и подземных водах одинаковое, но несколько выше (в 2-4 раза) кларковых значений для Мирового океана. Максимальный поток формируют Fe — 32,5 т и Mn – более 2,5 т, что объясняется высокой природной концентрацией этих элементов в подземных водах зоны активного водообмена из-за гидролиза силикатных минералов. Величины поступления других элементов колеблются в широких пределах — от 1,6 (Hg, Cd) до 82,1 кг/год (As) [2]. Полученные объемы поступления металлов в Пуцкий залив и в морскую акваторию, прилегающую к Калининградскому п-ову сопоставимы. Серьезные расхождения по объемам Cu (1,2 и 37 кг) и Zn (655,9 и 43 кг) могут быть связаны как с локальными особенностями химического состава подземных вод, так и с техническими трудностями определения содержания веществ, находящихся в малых концентрациях.

Также был выполнен предварительный расчет поступле-

ния биогенных элементов (растворенного азота и фосфатов) в прибрежные воды с подземным стоком из указанных двух водоносных горизонтов. Было подтверждено, что содержание азота аммиака в подземных водах выше, чем в водах Гданьского залива (в 2-3 раза). Содержание нитратов оказалось выше в водах залива (примерно в 2 раза), нитритов – ниже в 4 раза. Общий подземный сток азота по расчетам составил около 13 т, фосфатов – менее 1 т. В поступлении биогенных веществ (13 т/год) доминирует аммонийная форма азота (12 т/год) [2].

Влияние субмаринной разгрузки на донные отложения. Перспективным для обнаружения зон субмаринной разгрузки является метод, основанный на изменении химического состава верхнего слоя осадка [9]. Анализ геологических предпосылок формирования субмаринной разгрузки позволил выделить несколько полигонов. Первый расположен в северо-восточной части Гданьского бассейна, характеризуется несколькими факторами субмаринной разгрузки: разломы, палеоврез, покмарки, структурный уступ. Второй и третий лежат в акватории Балтики на продолжении Бакалинской и Прегольской разрывных зон соответственно. Колонки донных отложений отбирались на первом (ст. 37056 и 37057) и втором полигонах (ст. 35097), а также в фоновой точке (ст. 35084), расположенной в северо-восточной части Гданьской впадины.

Исследования осадков в предполагаемых зонах разгрузки подземных вод в глубоководной части Гданьского залива, расположенных близ разлома и покмарка, и в периферической зоне газонасыщенных осадков продемонстрировали различия в составе и в вертикальном распределении химических элементов. В среднем, содержание основных макроэлементов (К, Na, Ca, Mg) в зоне разлома было выше, чем в фоновых участках. Так, для колонок 37056 и 37057 содержание К было на 20% выше, чем в колонках 35084 и 35097, Na на 23% Ca и Mg на 46%. При этом содержание Fe было сходным и в среднем отличалось на 2%, что лежит в пределах погрешности

метода определения. Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Cd, Pb, наоборот, в зоне разломов показали отрицательную динамику, что возможно связано с их изъятием из осадка под воздействием биологических процессов, либо вымыванием недонасыщенными этими элементами подземными водами.

Нормализация химических элементов к природному маркеру (например к Fe) позволяет сравнивать образцы с различным гранулометрическим составом. Превышения нормализованных к Fe значений K, Na, Ca, Mg к Fe для зоны разлома и фоновых точек, в общем, повторяли натуральные соотношения (K – 23%, Na – 27%, Ca – 51%, Mg – 42%). В вертикальном распределении нормализованных значений внимания заслуживают повышенные значения K и Mg в колонке 37056 на глубине 25-40 см, а также Mg и Ca в колонке 37057, что может свидетельствовать об эндогенном их привнесении. Особенности гидрологического режима придонного слоя, условия седиментации ниже пикноклина, наличие тектонических разломов и известный состав артезианских подземных вод позволяют утверждать, что данная аномалия концентраций Na, Ca, Mg и K является связанной с разгрузкой оксфорд-титонского горизонта [9]. Проведенный кластерный анализ также выявил существенные различия в группировке слоев [9]. Вертикальная структура и уровень взаимосвязей химических элементов в колонке, расположенной близ пойма позволяет утверждать о существовании дополнительных факторов, влияющих на седиментогенез, например субмаринной разгрузки. Различия с близлежащими колонками не могут быть объяснены различными условиями осадконакопления. В Гданьской впадине под галоклином (глубины 80-90 м) на расстоянии нескольких километров сложно представить развитие отличающихся гидролого-гидрохимических

условий, определяющих различный минералогический состав отложений. Близость покмарка маркирует выход флюидов из осадочной толщи, по-видимому, придавшего особенности повторяющейся стратификации.

Влияние субмаринной разгрузки на экосистемы юго-восточной части Балтийского моря. Влияние процесса субмаринной разгрузки на состояние морских экосистем отчетливо проявляется в небольших замкнутых заливах, бухтах, где наблюдаются изменения в структуре бентосных сообществ. Так в мелководной зоне Пущкого залива из-за повышенного поступления органических соединений с субмаринной разгрузкой в донных отложениях наблюдаются низкие концентрации кислорода или даже гипоксические условия. Следствием этого является метаногенез. Производство и выброс метана влияет на пространственное распределение, численность и таксономический состав бентосных сообществ и приводит к значительному сокращению плотности мейофауны. Воздействие субмаринной разгрузки проявилось в сокращении количества некоторых таксонов мейофауны (нематод и гарпактикоидов), а также в изменении моделей временного распределения и мелкомасштабной вертикальной зональности сообществ мейофауны [8]. Субмаринная разгрузка возможна и на больших глубинах. Результаты исследований указывают на то, что покмарки являются активной зоной разгрузки пресной воды на глубинах ~90 м [6]. Вследствие сброса пресных вод происходят изменения в составе поровых и придонных вод (уменьшение с глубиной колонки хлоридов, сульфатов, увеличение кальция, фтора и т.д.) Из-за низкой доступности сульфатов, что является следствием разгрузки пресной воды, поверхностные отложения в покмарках являются местом интенсивного современного производства метана, при котором газ попадает в толщу воды вместе с сбрасываемой водой. Условия окружающей среды на дне покмарка из-за интенсивного оттока газа (в основном метана - 76,1%) и

разгрузки пресной воды, можно рассматривать как отличительные по сравнению с типичными морскими глубоководными районами, что и провоцирует изменения в составе прокариот [6].

Заключение. Механизм влияния субмаринной разгрузки выражается в изменении геохимического фона донных отложений или придонных вод и, как следствие, в трансформации видового состава и биологического разнообразия донных экологических сообществ. Субмаринная разгрузка принимает участие в транспортировке различных веществ: тяжелых металлов, соединений азота и фосфора, ксенобиотиков, фармацевтических препаратов. Из-за избыточного поступления органических соединений, создаваемого субмаринной разгрузкой загрязненных подземных вод, в донных отложениях юго-восточной части Балтики наблюдается дефицит кислорода. Следствием этого является метаногенез - один из конечных этапов анаэробного разложения органики. Отмечается воздействие субмаринной разгрузки как на мейофауну мелководья в условиях песчаного грунта, так и на относительно глубоководные (90 м) бактериальные сообщества.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта №19-45-390007.

Литература

1. Михневич Г.С., Кречик В.А., Крек А.В., Данченков А.Р. Взаимодействие морских и подземных вод в прибрежной зоне Юго-Восточной Балтики и его экологические последствия // Материалы VII Международного Балтийского морского форума. Калининград: Изд-во БГАРФ, КГТУ. - 2019. - Т. 3. - С. 369-380.

2. Михневич Г.С., Кречик В.А., Крек А.В., Данченков А.Р. Вклад субмаринной разгрузки в загрязнение Юго-Восточной Балтики тяжелыми металлами и нутриентами // Труды IX Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU – 2020)». - Тверь: ООО «Полипресс». - 2020. - Т. III. - С. 313-316.
3. Семенчук А.В. Условия формирования подземных вод Балтийской косы (Калининградская область): дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.07 / Семенчук Александр Владимирович; ВСЕГЕИ. – Санкт-Петербург, 2018. – 152 с.
4. Bussmann I., Suess E. Groundwater seepage in Eckernförde Bay (western Baltic Sea): effect on methane and salinity distribution of the water column // *Cont. Shelf Res.* - 1994. - Vol. 18. - pp. 1795–1806.
5. Charette M.A., Sholkovitz E.R. Oxidative precipitation of groundwater-derived ferrous iron in the subterranean estuary of a coastal bay // *Geophys. Res. Lett.* - 2002. - Vol. 29 (10). - pp. 85-1–85-4.
6. Idczak J. et al. A geophysical, geochemical and microbiological study of a newly discovered pockmark with active gas seepage and submarine groundwater discharge (MET1-BH, central Gulf of Gdańsk, southern Baltic Sea) // *Science of the Total Environment.* -2020. - №742:140306
7. Jensen J., Kuijpers A., Bennike O., Laier T., Werner F. New geological aspects for freshwater seepage and formation in Eckernförde Bay, western Baltic // *Cont. Shelf Res.* - 2002. - Vol. 22. - pp. 2159–2173.
8. Kotwicki L. et al. Submarine groundwater discharge to the Baltic coastal zone: Impacts on the meiofaunal community // *Journal of Marine Systems.* - 2014. - №129. - pp. 118–126.
9. Krek A., Krechik V., Danchenkov A., Mikhnevich G. The role of fluids in the chemical composition of the upper holocene sediment layer in the russian sector of the South-East Baltic // *Russian Journal of Earth Sciences* - 2020. -Vol. 20. - ES6006. doi:10.2205/2020ES000719.
10. Schlüter M. et al. Spatial distribution and budget for submarine groundwater discharge in Eckernförde Bay (Western Baltic Sea) // *Limnol. Oceanogr.* - 2004. - Vol. 49. - pp. 157–167.
11. Spiteri C., Regnier P., Slomp C.P., Charette M.A. pH-dependent iron oxide precipitation in a subterranean estuary // *J. Geochem. Explor.* - 2006. - Vol. 88 (1-3). - pp. 399–403.
12. Szymczycha B., Susanna V., Pempkowiak J. Nutrient fluxes

via submarine groundwater discharge to the Bay of Puck, southern Baltic Sea // *Science of the Total Environment*. - 2012. - Vol. 438. - pp. 86–93.

13. Szymczycha B. et al. Submarine groundwater discharge as a source of pharmaceutical and caffeine residues in coastal ecosystem: Bay of Puck, southern Baltic Sea case study // *Science of the Total Environment*. - 2020. - Vol. 713:136522

14. Szymczycha B. et al. Significance of nutrient fluxes via submarine groundwater discharge in the Bay of Puck, southern Baltic Sea // *Oceanologia*. - 2020. - Vol. 62. - p. 117-125.

15. Szymczycha B., Kroeger K. D., Pempkowiak J. Significance of groundwater discharge along the coast of Poland as a source of dissolved metals to the southern Baltic Sea // *Mar. Pollut. Bull.* - 2016. – Vol. 109, 1. - pp. 151-162.

16. Taniguchi M. et al. Investigation of submarine groundwater discharge // *Hydrol. Process.* - 2002. - V. 16. - pp. 2115–2129.

17. Virtasalo J.J. et al. Submarine groundwater discharge site in the First Salpausselkä ice-marginal formation, south Finland // *Solid Earth*. - 2019. - Vol. 10. - pp. 405–423.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЁЛТОГО ВЕЩЕСТВА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД В УСТЬЕ Р.КЕРЕТЬ, БЕЛОЕ МОРЕ

Морозова С.М. ¹, Саимирзаева Н.А. ¹, Смагин Р.Е. ¹, Петросян Н.В. ¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра океанологии, Санкт-Петербург, Россия.

DISTRIBUTION OF COLORED DISSOLVED ORGANIC MATTER IN THE ESTUARY OF THE RIVER KERET, WHITE SEA IN SUMMER

Morozova S.M. ¹, Saimirzaeva N.A. ¹, Smagin R.E. ¹, Petrosyan N.V. ¹

¹Saint Petersburg State University, Department of Oceanology, Saint Petersburg, Russia.

Проводилось изучение особенностей распределения жёлтого вещества в устьевой части реки Кереть, впадающей в Белое море посредством отбора проб воды и определения показателя поглощения. Приведены экспериментальные данные по изменению показателя поглощения света жёлтым веществом в поверхностном слое устья реки Кереть, полученные в ходе летних практик в 2017, 2018 и 2021 годах. С помощью оптических методов исследования были проведены спектрофотометрические измерения на длине волны 355 нм. Проанализировав данные, полученные в ходе исследования, можно определить, насколько быстро уменьшается в воде количество жёлтого вещества по мере удаления от устья реки Кереть к мористой части.

The study of the peculiarities of the distribution of Colored Dissolved Organic Matter (CDOM) in the estuary of the Keret River, which flows

into the White Sea, was carried out by taking water samples and determining the absorption index. Experimental data on the change in the absorption index of light by CDOM in the surface layer of the Keret river mouth, obtained during summer practices in 2017, 2018 and 2021, are presented. Using optical research methods, spectrophotometric measurements were carried out at a wavelength of 355 nm. After analyzing the data obtained in the course of the study, it is possible to determine how quickly the amount of CDOM in the water decreases with distance from the Keret River estuary to the seaward part.

Материалы и методы

Для анализа распределения и изменчивости содержания жёлтого вещества в воде использовались данные показателя поглощения, полученные с помощью спектрофотометра UNICO-1200 на длине волны 355 нм, полученные контактным методом, путем отбора проб в мористой части устья реки Кереть в 2017, 2018 и 2021 годах. Дальнейшее исследование проходило путем сравнения показателя поглощения в различных точках и выявления общих закономерностей изменчивости.

Введение

В составе морских вод содержится разнообразное количество органических веществ, существующих в двух формах: входят в состав частиц взвеси или находятся в растворенном состоянии. Растворенное вещество представлено коллоидными и молекулярными соединениями, и эта часть органического вещества, которая проходит при фильтрации пробы воды через фильтры с размером пор 0,45-1 мкм [2]. Взвешенное органическое вещество таким фильтром удерживается. Органическое вещество в морской воде имеет два источника:

образование населяющими ее организмами (автохтонный источник) и поступление с суши, преимущественно реками (аллохтонный источник) [2].

При разложении организмов в морской воде выделяют несколько групп химических соединений. Данная работа направлена на изучение пятого раздела по классификации Дурсма [3], гумусовых кислот. Эта группа веществ была открыта профессором океанографии Гамбургского университета Куртом Калле в 1938 году и названа «Gelbstoff», что в переводе означает «жёлтое вещество». Жёлтое вещество представляет собой компонент общего растворенного органического углерода, который поглощает коротковолновый свет от синего до ультрафиолетового. Таким образом, вода, содержащая большое количество растворённого органического вещества, может варьироваться от коричневого, во многих реках, до жёлтого и жёлто-коричневого в прибрежных водах. Именно поглощение синего цвета делает жёлтое вещество интересным со стороны изучения оптики океана, а также обеспечивает простоту его измерения в окружающей среде [4].

В северных морях большой речной сток, что обеспечивает высокое содержание гумусовых соединений в этих водах. В прибрежных водах преобладает аллохтонное жёлтое вещество, а при удалении от берега, в открытых частях моря, - автохтонное.

Концентрация жёлтого вещества оказывает значительное влияние на биологическую активность в водных системах. Разные концентрации могут непосредственно влиять на фотосинтез и рост фитопланктона по нескольким причинам. Во-первых, небольшие концентрации, вызывая большую интенсивность прогрева вод за счет увеличения поглощения света в поверхностном слое, способствуют развитию фитопланктона. Во-вторых, при увеличении концентрации скорость фотосинтеза снижается за счет уменьшения освещенности в водной толще. Также жёлтое вещество используется для отсле-

живания источников воды различного происхождения, в качестве трассера для оценки трансформации речных вод в устьевых областях [4].

Методика

В качестве объекта исследования в данной работе выступает устье реки Кереть, где производился отбор проб воды на жёлтое вещество на 6-ти точках с поверхностного горизонта в начале и конце лета за 2017, 2018, 2021 года (02.07.2021, 03.08.2021, 28.06.2018, 05.08.2018, 04.07.2017, 06.08.2017). Собранные пробы фильтровались через специальные фильтры с размером пор 0,2 мкм. В настоящее время в океанологии нет прямых методов, позволяющих определить концентрацию растворенного органического вещества в воде, поэтому принято характеризовать его содержание по оптическому проявлению. Проводились спектрофотометрические измерения, в расчетах использовалась одна из наиболее распространенных – 355 нм. Полученные оптические плотности переводились в показатели поглощения при анализ фильтрованной воды по следующей формуле (1), где L – длина кюветы в метрах (в работе использовалась кювета длиной 5 см), $A_{CDOM}(\lambda)$ – оптическая плотность, $a_{CDOM}(\lambda)$ – показатель поглощения в $l\backslash m$.

$$(1) a_{CDOM}(\lambda) = 2,303 * \frac{A_{CDOM}(\lambda)}{L},$$

Результаты

Полученные результаты представлены в виде диаграммы распределения жёлтого вещества в конкретных точках акватории (Рис. 2), эти же точки пространственно отражены на карте (Рис.1).

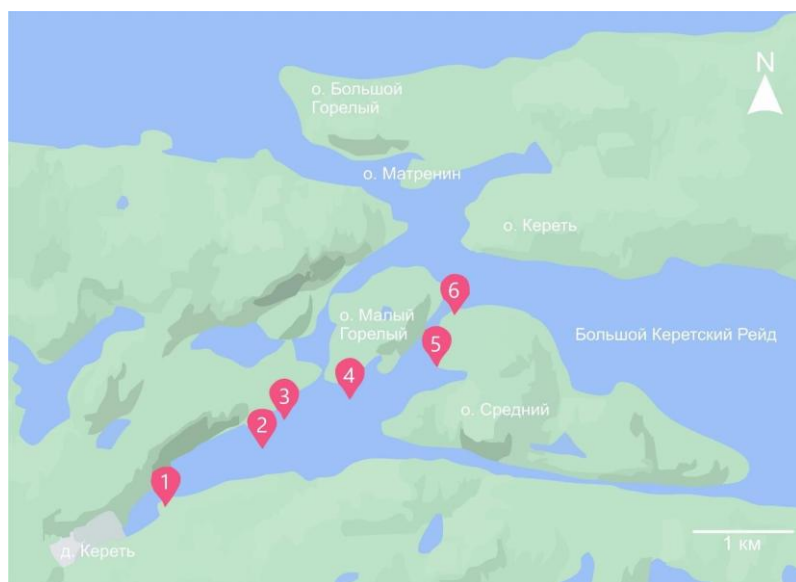


Рис. 1 Распределение точек отбора проб в 2017, 2018 и 2021 годах.

Основным источником поступления жёлтого вещества является река Кереть (аллохтонный источник), что можно увидеть по разностям концентраций для каждой конкретной точки в зависимости от удаленности от устья реки к морю. В морские воды впадают пресные воды реки Кереть. В месте впадения заметно четкое разделение – речные воды, как менее плотные, лежат на морских, т.е. в поверхностном слое преобладают воды с речными характеристиками: пресные, с высоким содержанием растворенного органического вещества и биогенов.

В таблице (Таблица 1) и на графике (Рис. 2) показано распределение показателя поглощения по точкам за все годы.

Таблица 1 Распределение показателя поглощения по точкам для начала и конца лета в 2017, 2018 и 2021 годах.

№ точки	Начало лета 2021 г.	Конец лета 2021 г.	Начало лета 2018 г.	Конец лета 2018 г.	Начало лета 2017 г.	Конец лета 2017 г.
6	14,51	9,4423	9,995		20,68094	13,311
5	13,5	9,76472	9,442	11,69924	20,17428	12,851
4	12,9	10,04108	8,982	11,7453	18,97672	12,851
3	11,19	13,44952	10,64	12,39014	19,25308	12,897

2	11,24	12,71256	14,094	12,57438	19,25308	13,956
1	16,67	26,7148	15,614		15,01556	14,233

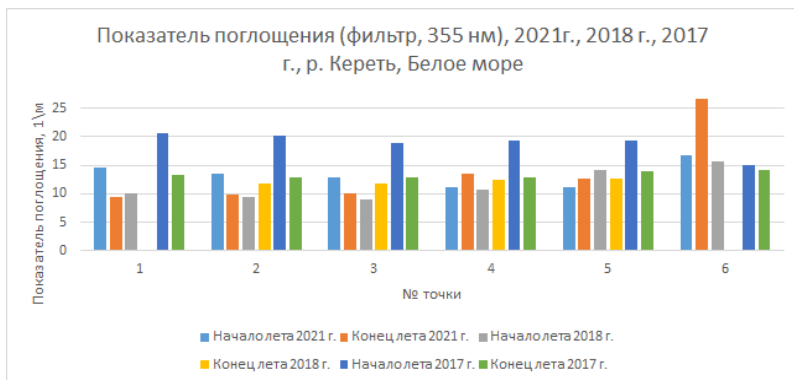


Рис. 2 Распределение показателя поглощения по точкам для начала и конца лета в 2017, 2018 и 2021 годах.

Анализируя график распределения жёлтого вещества можем сделать вывод, что большее содержание жёлтого вещества приходится на устьевую область, в мористой части содержание жёлтого вещества значительно меньше. Также при сравнении содержания жёлтого вещества в воде в начало и конец лета можно отметить, что большее содержание приходится на конец лета. Максимум показателя поглощения жёлтого вещества наблюдается в точке №1 в начале лета 2021 года (02.07.21) и составляет 16,67 1/м. Минимум приходится на начало лета 2018 года (28.06.18) в точке №4 и составляет

8,982 1\м. Можно отметить, что все значения для начала лета 2017 года значительно выше остальных, как и значение в точке №1 для конца лета 2021 года (03.08.2021), поэтому мы не учитываем их при выделении максимальных и минимальных значений.

Данное исследование проходило при поддержке Российско-Германской Лаборатории полярных и морских исследований им. О. Ю. Шмидта.

Литература

1. Примаков И.М., Петросян Н.В., Полякова Н.В. Анализ гидробиологических материалов: гидролого-гидрохимические работы на Белом море (методическое пособие). СПб: Изд-во «Лемма». 2010.
2. Романкевич Е.А. Геохимия органического вещества в океане. М.: Наука, 1977.
3. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. Л., «Гидрометеиздат», 1983.
4. Coble, Paula. "Marine Optical Biogeochemistry: The Chemistry of Ocean Color". *Chemical Reviews*. 107 (2): 403–404, 2007.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ СЕЗОННЫЙ ХОД ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ СКАЧКА

В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ

М.А. Науменко¹, В.В. Гузиватый¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Институт озераедения Российской академии наук, Санкт-Петербург, РФ

M.A. Naumenko¹, V.V. Guzivaty¹

¹ St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Формирование, эволюция и диссипация слоя скачка, являющегося ежегодным явлением в крупных димиктических озёрах, является неотъемлемым элементом изучения вертикальной структуры вод озёр. На основе предложенных методических разработок воспроизведен среднелиматический ход параметров слоя скачка в период устойчивой стратификации для центральной части Ладожского озера. Рассматривается совместное распределение сезонного хода температуры поверхности воды, температуры верхнего квазиоднородного слоя, отличающейся не более 0.5°C, и заглубления верхней границы слоя скачка, глубины максимального градиента плотности, глубины нижней границы слоя скачка, характеризующие их климатический ход. Статистический анализ вертикальных профилей температуры, измеренной за длительный период времени с 1897 по 2017 г.г., позволил впервые разработать эмпирические количественные соотношения между параметрами стратификации с высокими коэффициентами детерминации.

The formation, evolution, and dissipation of the thermocline layer, which is an annual phenomenon in large dimictic lakes, is an integral part of the study of the vertical structure of lake waters. On the basis of the proposed methodological developments, the average climatic variation of the parameters of the thermocline layer during the period of sta-

ble stratification for the central part of Lake Ladoga was reproduced. We consider the joint distribution of the seasonal variation of the water surface temperature, the temperature of the upper quasi-uniform layer, which differs by no more than 0.5°C , and the deepening of the upper boundary of the thermocline, the depth of the maximum density gradient, and the depth of the lower boundary of the thermocline layer, which characterize their climatic course. Statistical analysis of vertical temperature profiles measured over a long period of time from 1897 to 2017 made it possible for the first time to develop empirical quantitative relationships between stratification parameters with high determination coefficients.

Термическая структура Ладожского озера, крупнейшего в Европе димиктического озера, характеризуется значительной пространственно-временной изменчивостью, которая определяется сезонными изменениями прихода тепла на поверхность озера и его распространением вглубь, синоптической изменчивостью процессов, распределением глубин в озере и удалённостью от берегов. Представляет значительный интерес количественное определение параметров вертикальной устойчивости водной толщи для понимания процессов, связанных с возникновением стратификации и обмена теплом как по вертикали, так и по горизонтали между районами с различным распределением глубин [*Бояринов, Петров, 1991; Тихомиров, 1982*].

Разработанная методика позволила провести анализ особенностей климатического распределения параметров слоя скачка в центральной части димиктического Ладожского озера в течение периода развитой стратификации с начала возникновения до её диссипации на основе анализа большого объёма информации, которая хранится в специализированной базе данных Института озероведения РАН [*Науменко, Гузиватый, 2021*]. Под климатическим распределением мы понимаем регрессионные зависимости, полученные на основе всех имеющихся в базе

данных измерений параметров развитой стратификации, которые могут служить базовыми распределениями для оценки отклика термических особенностей озера на вариации климата.

Для анализа среднеклиматической изменчивости параметров стратификации была выбрана центральная часть Ладожского озера, которая имеет глубины от 50 до 70 м, и в силу летней циклонической циркуляции слой скачка расположен ближе к поверхности, чем в прибрежных районах [Тихомиров, 1982]. Из термической базы данных Института озераведения РАН, для более чем 10 000 станций с глубинами дна указанного диапазона, были выбраны вертикальные профили температуры за период с 1897 до 2017 г.

Характеризуя последовательность изменений термической структуры Ладожского озера, можно выделить две стадии формирования верхнего квазиоднородного слоя (ВКС) и эволюции слоя скачка вплоть до полного перемешивания на определенной вертикали.

Во время первой стадии ВКС начинает формироваться после прохождения весенней термической зоны. Обычно его толщина не превышает 1-2 м при температуре поверхности воды около 5° и небольших скоростях ветра. Идет процесс нагревания, в этот период увеличение толщины ВКС может осуществляться только за счёт ветрового перемешивания (вынужденной конвекции), на малых глубинах образуется летний слой скачка. В этот период вертикальный градиент температуры в слое скачка увеличивается, достигая своего максимума. В связи с этим большая часть тепла, поступающая на поверхность озера, перераспределяется в верхнем квазиоднородном слое и приводит к повышению его температуры.

В августе, после того, как температура поверхности воды достигает максимума, начинается процесс охлаждения (вторая стадия формирования ВКС), определяющий возникновение и развитие свободного конвективного перемешивания. Вместе с вынужденной конвекцией это приводит к увеличению толщины квазиоднородного слоя и заглублению слоя скачка. На ряду с этим, происходит понижение температуры поверхности и повышение температуры на нижележащих горизонтах в результате турбулентной диффузии тепла через нижнюю границу квазиоднородного слоя.

Далее в первой половине ноября свободная конвекция достигает дна, что приводит к разрушению слоя скачка, полному перемешиванию и, следовательно, выравниванию температуры воды по вертикали. Толщина эпимимниона сравнивается с глубиной дна на рассматриваемой вертикали. Температура придонной воды становится максимальной за весь годовой цикл и равна температуре эпимимниона (рис.1). Сочетание минимальной частоты Вьяйсяля-Брента (близкой к 0) и максимальной за год температуры придонных вод соответствует дате начала периода полного вертикального перемешивания, которое продолжается до того, как температура придонной воды сравняется с температурой наибольшей плотности 3.98°C в условиях вертикальной изотермии. Следует заметить, что максимальная придонная температура в разных частях озера различна и наступает в разные сроки, что связано с различием глубины дна и ветровой вынужденной конвекцией.

Общая закономерность, заключающаяся в ежегодной характерной последовательности возникновения термических структур в димиктическом озере и сочетание двух выше указанных стадий поступления тепла вглубь в период устойчивой стратификации, указывают на нелинейную зависи-

мость заглубления ВКС от момента его возникновения до достижения дна.

Климатический ход различных параметров стратификации полезно представить в виде гладкой непрерывной функции с использованием всех данных, независимо от года наблюдений. Исходя из различия процессов нагревания и охлаждения, для каждого из этих периодов: 1) с начала стратификации до даты максимума температуры поверхности и 2) после нее до полного вертикального перемешивания, были получены аппроксимационные кривые в выбранном районе. За дату климатического максимума температуры поверхности воды центрального района Ладожского озера принято 6 августа.

Для димиктических озер продолжительность периода нагревания меньше периода охлаждения, что было отражено в разработанных формулах аппроксимационных кривых. На рис. 1а приведен с начала стратификации климатический сезонный ход температуры поверхности воды T_w , температуры слоя скачка T_{Gmax} и температуры на нижней границе слоя скачка T_{hl} .

Первые две аппроксимирующие кривые представляют собой композицию степенной и экспоненциальной функции

$$T_w(x) = a_1 * t^d * e^{ct} \quad (1),$$

где $t = x/100$, x -количество суток от начала года.

Для временной зависимости изменения глубины границ слоя скачка используется показательная функция

$$h(x) = a_2^{t+r} \quad (2),$$

соответствующая быстрому увеличению глубины на заключительных этапах. На рисунке 1б приведены климатические кривые, характеризующие заглубление ВКС (верхней границы слоя скачка h_s), максимального градиента плотности воды h_{Gmax} и нижней границы слоя скачка h_l с конца июня до начала ноября, построенные на основе (2).

Переход от одного периода к другому на рис. 1 показан центральной вертикальной пунктирной прямой.

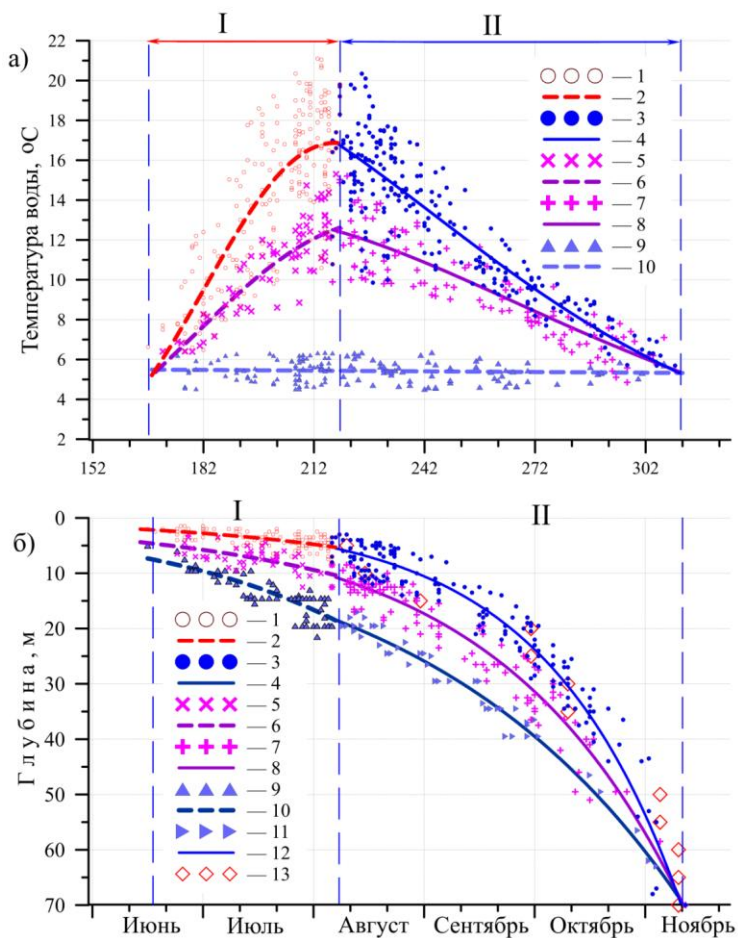


Рис.1. Сезонный ход параметров устойчивой стратификации для периодов нагрева (I) и охлаждения (II):

а) температуры поверхности (1, 3) и её аппроксимация (2, 4),

температуры в слое скачка (5, 7) и её аппроксимация (6, 8),
температуры на нижней границе (9) и её аппроксимация (10);
б) заглубления верхнего квазиоднородного слоя (1, 3) и его аппроксимация (2,4),
заглубления максимального градиента плотности воды (5, 7) и его аппроксимация (6, 8),
заглубления нижней границы слоя скачка (9, 11) и его аппроксимация (10, 12), среднедекадные глубины ВКС(13).

На основе полученных эмпирических формул были впервые вычислены толщины эпиплимниона (ВКС), металимниона (слоя скачка) и гипоплимниона, что позволило представить их временной ход для периода развитой стратификации.

Проанализировано совместное распределение сезонного хода температуры поверхности (ВКС) центральной части Ладожского озера и заглубления верхней границы слоя скачка, глубины максимального градиента плотности, характеризующие их климатический ход. Оценены скорости изменения температуры и изменения параметров слоя скачка. Для периода нагревания и периода охлаждения найдены полезные аналитические зависимости, которые достаточно хорошо описывают сезонный ход термических параметров Ладожского озера, а формы зависимостей могут быть применены для изучения термики других димиктических озёр.

Фактически полученные результаты являются климатическими нормами для центральной части Ладожского озера и отклонения от них могут характеризовать межгодовые изменения стратификации и параметров слоя скачка.

Полученные результаты могут быть использованы в качестве начальных и граничных условий при гидродинамическом моделировании Ладожского озера, а также при верификации модельных расчётов.

Проведенные исследования выполнены по госзада-
нию № 0154-2019-0001 «Комплексная оценка динамики э-
косистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воз-
действием природных и антропогенных факторов».

Литература

1. *Бояринов П.М., Петров М.П.* Процессы формирования термиче-
ского режима глубоких пресноводных водоемов. Л.: Наука,
1991. 178 с.
2. *Тихомиров А.И.* Термика крупных озер. Л.: Наука, 1982. 232 с.
3. *Науменко М.А., Гузиватый В.В.* Методические подходы и
результаты анализа климатического сезонного хода параметров
устойчивой стратификации димиктического озера (на примере
центральной части Ладожского озера). Известия АН. Физика
атмосферы и океана, т.58, № 1, 2022, с.52-62.

ОЦЕНКА ОТЕПЛЯЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ САЛЕХАРДА)

К.А. Никитин

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия

ASSESSMENT OF THE HEAT INFLUENCE OF SNOW COVER (BY THE EXAMPLE OF SALEKHARD)

K.A. Nikitin

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Moscow, Russia

Статья посвящена исследованию тепляющего влияния снежного покрова на примере Салехарда. Расчет выполнялся по формуле В.А. Кудрявцева. Использовались осредненные климатические параметры за 1966-2018 гг. Температурное воздействие снега на подстилающие породы составило 3,3°C.

This article is about studying of the heat effect of snow cover on the example of Salekhard. The calculation is performed according to the formula V.A. Kudryavtsev. Averaged climatic parameters for 1966-2018 are used. The heat effect of snow on the underlying ground is 3.3°C.

Снежный покров является одним из природных компонентов, заметно влияющих на термическое состояние многолетнемерзлых пород (ММП). Обладая малыми значениями теплопроводности, снег является теплоизолятором и предохраняет в зимнее время породы от теплопотерь [1]. При нарушении снегонакопления в криолитозоне (зоне распространения ММП) наблюдается изменение температур пород, активизация геологических процессов, существенно влияющих на состояние и эксплуатацию инфраструктуры [2]. Цель работы – оценка тепляющего влияния снежного покрова на севере Западной Сибири на примере Салехарда.

Используется приближенная формула, предложенная В.А. Кудрявцевым [3]. Зависимость основана на первом законе Фурье, описывающем затухание колебаний температуры в среде без затрат тепла на фазовые переходы:

$$\Delta t_{\text{сн}} = A_{\text{д}}(1 - e^{-h_{\text{сн}}\varphi}); \varphi = \sqrt{\frac{\pi}{a_{\text{сн}}T}}$$

где $\Delta t_{\text{сн}}$ – разница между среднегодовой температурой почвы под снегом и среднегодовой температурой дневной поверхности (°С); $A_{\text{д}}$ – амплитуда (физическая) годовых колебаний температуры на дневной поверхности (°С); $a_{\text{сн}}$ – коэффициент температуропроводности снега (м²/ч); $h_{\text{сн}}$ – высота снежного покрова (м); T – период, равный году (ч).

При расчетах используются осредненные за 1966-2018 гг. климатические характеристики, определенные на метеостанции Салехард и опубликованные в действующих нормативных документах [4]. Средняя высота и плотность снега за этот период получены из открытой базы Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных [5] (табл. 1).

Таблица 1. Климатические характеристики, используемые при расчетах

Характеристика	Значение
Высота снега	0,38 м
Плотность снега	0,34 г/см ³
Амплитуда (физическая) годовых колебаний температуры на дневной поверхности	20,7°С

Коэффициент температуропроводности снежного покрова $a_{\text{сн}}$ равен отношению его коэффициента теплопровод-

ности $\lambda_{\text{сн}}$ (ккал/м*ч*°С) к объемной теплоемкости $C_{\text{сн}}^{\text{об}}$ (ккал/м³*°С):

$$a_{\text{сн}} = \frac{\lambda_{\text{сн}}}{C_{\text{сн}}^{\text{об}}}$$

Теплоемкость снега зависит от его плотности и определяется соотношением:

$$C_{\text{сн}}^{\text{об}} = C_{\text{л}}^{\text{об}} \frac{\rho_{\text{сн}}}{\rho_{\text{л}}},$$

где $\rho_{\text{л}}$ – плотность льда (г/см³), $\rho_{\text{сн}}$ – плотность снега (г/см³), $C_{\text{л}}^{\text{об}}$ – объемная теплоемкость льда (ккал/м³*°С).

Коэффициент теплопроводности снежной толщи рассчитан по формуле Б.В. Проскуракова [1]: $\lambda_{\text{сн}} = 0.018 + 0,87\rho_{\text{сн}}$, где $\rho_{\text{сн}}$ – плотность снега, г/см³. Полученное значение составляет 0,31 ккал/м*ч*°С. Итоговый коэффициент температуропроводности снега равен 0,001671 м²/ч.

Результаты расчетов показывают, что осредненное за 1966-2018 гг. отепляющее влияние снежного покрова в районе Салехарда достигает 3,3°С.

Литература

1. Ершов Э.Д. Методы геокриологических исследований. М.: Изд-во МГУ, 2004. С. 264-273.
2. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Чернов Р.А. Коэффициент теплопроводности снега и его изменчивость // Криосфера Земли. 2017. т. XXI, № 3. С. 60-68.
3. Кудрявцев В.А. Температура верхних горизонтов вечномерзлой толщи в пределах СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 182 с.
4. Свод правил СП 131.13330.2020 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 24 декабря 2020 г. N 859/пр).
5. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр

данных (ВНИИГМИ-МЦД). meteo.ru/data. Дата обращения
10.11.2021.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИИ АКТИНОМЕТРА

В. С. Никитина¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

В докладе представлена методика расчёта тепловой инерции актинометра. Вводится понятие коэффициента тепловой инерции актинометра. Показано, что коэффициент тепловой инерции актинометра достаточно мал, а инерционная погрешность при определённых условиях незначительна. Данная методика может быть применена для расчёта инерционной погрешности других приборов с аналогичными датчиками.

ACTINOMETER INERTIA INVESTIGATION.

V. S. Nikitina¹

¹ Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

The method of calculation of actinometer heat inertia is in this report. The definition of heat inertia coefficient of actinometer is given. Authors show that the coefficient is low enough, and inertia error is negligible. This method can be used for calculation of inertia error for other devices with the same sensor.

Введение

Основным прибором для измерения прямой солнечной радиации является термоэлектрический актинометр. Приёмником радиации служит диск из тонкой серебряной фольги диаметром 11 мм. В центре диска имеется отверстие диаметром 3,5 мм. Одна сторона диска, обращённая к солнцу, за-

чернена сажей. К другой стороне приклеена папиросная бумага, а поверх неё – нечётные внутренние спаи звездообразной термобатареи. Внешние чётные спаи приклеены к медному кольцу, зажатому в корпусе и находящемуся в тени. В результате медное кольцо будет иметь температуру окружающей среды, а диск – нагреваться посредством попадания на него прямой солнечной радиации. Таким образом, значение прямой солнечной радиации определяется разностью температур спаев термобатареи. Термобатарея преобразует эту разность в электрический ток, измеряемый гальванометром [1].

Инерция балансомера представляет интерес для исследования, поскольку она говорит о погрешностях прибора, на основе которых можно сделать вывод об улучшении конструкции прибора или использовании иных материалов, из которых состоит чувствительный элемент прибора.

Методика расчёта

Для определения инерции актинометра выведем уравнение, связывающее разность температур серебряного диска T и окружающей среды Θ (медного кольца) со временем τ . Предположим, что в начальный момент времени разность температур была равна нулю, т. е. диск был закрыт от прямой солнечной радиации. Далее, после открытия прибора, температура диска установилась больше температуры медного кольца. Тогда уравнение притока тепла Q для серебряного зачернённого диска запишется в виде:

$$\frac{dQ}{dt} = Ss - \alpha s(T - \Theta) - \left(\lambda_1 \frac{T - \Theta}{z} + \lambda_2 \frac{T - \Theta}{z} \right) \cdot \eta$$

· n, (1)

где:

S – прямая солнечная радиация;

s – площадь серебряного диска;

α – коэффициент конвективного теплообмена диска с окружающим воздухом;

T – температура диска;

θ – температура окружающей среды;

λ_1 и λ_2 – коэффициенты теплопроводности металлических перемычек между диском и кольцом;

z – длина перемычек;

n – количество термопар в термобатарее;

η – площадь поперечного сечения металлических перемычек.

Учтём известное соотношение [2]:

$$dQ = mcdT, \quad (2)$$

где:

m – масса диска;

c – удельная теплоёмкость материала диска (серебро).

С учётом (2) перепишем формулу (1) в следующем виде:

$$\frac{mcdT}{dt} = Ss - (T - \theta) \left(\alpha s + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{z} \cdot \eta \cdot n \right) \quad (3)$$

Обозначив $\left(\alpha s + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{z} \cdot \eta \cdot n \right) = B$, получаем:

$$\frac{mc}{B} \cdot \frac{dT}{d\tau} = \frac{Ss}{B} - (T - \theta) \quad (4)$$

Далее, разделяя переменные, приходим к выражению:

$$\frac{dT}{\left(T - \theta - \frac{Ss}{B}\right)} = -\frac{B}{mc} \cdot d\tau \quad (4)$$

Интегрируя правую часть уравнения (4) в пределах от T_0 до T , где T_0 – температура диска в начальный момент времени, а левую – от θ до τ , получаем следующее выражение:

$$\ln \frac{\left(T - \theta - \frac{Ss}{B}\right)}{\left(T_0 - \theta - \frac{Ss}{B}\right)} = -\frac{B\tau}{mc} \quad (5)$$

$$e^{-\frac{B\tau}{mc}} = \frac{\left(T - \theta - \frac{Ss}{B}\right)}{\left(T_0 - \theta - \frac{Ss}{B}\right)} \quad (6)$$

Далее выражаем значение температуры серебряного диска из выражения (6) и получаем:

$$T = \theta + \frac{Ss}{B} + \left(T_0 - \theta - \frac{Ss}{B}\right) \cdot e^{-\frac{B\tau}{mc}} \quad (7)$$

Полученное выражение предоставляет возможность ввести понятие коэффициента тепловой инерции актинометра как времени, в течение которого разность между максимальной разностью температур диска актинометра и окружающей

среды (медного кольца) и её текущим значением уменьшается в e раз.

Обратим внимание на то, что показатель экспоненты в формуле (7) не имеет размерности. Перепишем формулу (7) в виде:

$$T = \theta + \frac{Ss}{B} + \left(T_0 - \theta - \frac{Ss}{B} \right) \cdot e^{-\frac{\tau}{B}} \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что величина, стоящая в знаменателе показателя экспоненты, имеет размерность времени. Из приведённого выше определения коэффициента инерции ясно, что эта величина и является коэффициентом инерции актинометра κ :

$$\begin{aligned} \kappa &= \frac{mc}{B} \\ &= \frac{mc}{\alpha s + \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{z} \cdot \eta \cdot n} \end{aligned} \quad (9)$$

Подставим в формулу (9) характерные величины для актинометра М-3 (АТ-50), приведённые в книге [3], получим, что $\kappa = 0,3$ с. Такая малая величина свидетельствует о том, что актинометр обладает ничтожной инерцией и соответственно, практически не обладает инерционной погрешностью. Данная методика была применена для расчёта инерции и инерционной погрешности других приборов с аналогичными датчиками, результаты представлены в работах [4] и [5].

Литература

1. Саенко А. Г., Восканян К. Л. Актинометрические наблюдения. Пособие для учебной практики. РГГМУ, С-Пб, 2010. – 54 с.
2. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. РГГМУ, С-Пб, 2012. – 306 с.
3. Янишевский Ю. Д. Актинометрические приборы и методы наблюдений. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1957. – 416 с.
4. 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.
5. Никитина В. С., Григоров Н. О. «Теоретическое исследование чувствительности и инерции балансомера» Известия Географического общества Узбекистана. Том 56, Ташкент, 2019 г. – с. 141-147.

УРОВЕНЬ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОД ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА В 2021 Г.

Т.А. Носкова¹, С.В. Александров²

¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

² Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» (Атлант-НИРО), Калининград, России

Вислинский залив относится к эстуарным экосистемам и подвержен значительному эвтрофированию вод. По результатам ежемесячных исследований в 2021 году проведена оценка уровня эвтрофирования вод по концентрации хлорофилла. Среднее за вегетационный период (апрель-ноябрь) содержание хлорофилла «а» соответствовало эвтрофному уровню. Летом в заливе отмечено «гиперцветение» водорослей и концентрации хлорофилла достигали наибольшего для водных экосистем гипертрофного уровня.

THE LEVEL OF EUTROPHICATION OF THE VISTULA LAGOON IN 2021

T.A. Noskova¹, S.V. Aleksandrov²

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

² Atlantic branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kaliningrad, Russia

The Vistula Lagoon belongs to estuarine ecosystems and therefore it is subject to significant eutrophication of waters. Based on the results of

monthly measurements in 2021, the assessment of the level of eutrophication of waters by the concentration of chlorophyll was carried out. The average for the growing season (April – November) chlorophyll “a” concentration corresponded eutrophic level. In summer, algae bloom was observed, and chlorophyll concentrations reached the highest hypertrophic level for aquatic ecosystems.

Введение

Вислинский залив - одна из крупнейших прибрежных лагунных экосистем, отделенная от Балтийского моря песчаной косой и соединяющаяся с ним узким проливом [1]. Экосистема Вислинского залива находится под сильным воздействием природных (заток морских вод и речной сток) и антропогенных (поступление биогенных и загрязняющих веществ) факторов, оказывающих влияние на эвтрофирование вод и уровни первичного продуцирования. В последние десятилетия в заливе наблюдались заметные изменения в планктоне, обусловленные эвтрофикацией и «цветением» вод, изменением климатических условий [2-5].

Хлорофилл «а» - основной пигмент фитопланктона, которому отведена важнейшая роль в процессе фотосинтеза. Благодаря точности и оперативности измерений, определение концентрации хлорофилла «а» в планктоне является общепризнанным методом оценки биомассы фитопланктона, а также индикатором эвтрофирования и качества вод [6-8].

В работе рассматривается сезонная и пространственная динамика концентраций хлорофилла «а» как показателя трофического статуса и качества вод Вислинского залива по данным 2021 г.

Материалы и методы

Измерения уровня эвтрофирования вод в Вислинском заливе выполнялись на протяжении вегетационного периода с апреля по ноябрь 2021 года с периодичностью 1-2 раза в месяц, что позволяет объективно оценивать сезонную динамику исследованных показателей. Расположение 9 стандартных станций мониторинга соответствует гидрологическому и гидрохимическому делениям и позволяет охватить всю российскую акваторию [3, 6].

Пробы воды для определения хлорофилла отбирали на горизонтах, соответствующих поверхностному и придонному слою, а также глубине проникновения 10 и 1% солнечной радиации. Пробы объемом 0,03-0,10 л фильтровали через мембранные фильтры «МФАС-МА-6» (диаметр пор 0,3 мкм). Камеральная обработка выполнялась в лаборатории гидробиологии Атлантического филиала ФГБНУ «ВНИРО» спектрофотометрическим методом на спектрофотометре LekiSS2109UV по 4 длинам волн (750, 664, 647, 630 нм) согласно ГОСТ 17.1.04.02-90. При последующем анализе сезонной и пространственной изменчивости использованы осредненные для столба воды величины концентрации хлорофилла «а».

Ежемесячные данные, полученные для 9 мониторинговых станций, были усреднены для четыре храйонов: восточный район (станции № 1, 2, 3), прибалтийский район (станции №5,9, 10), центральный район (станции № 6, 7), Приморская бухта (станция № 4) [3, 4].

Результаты и обсуждение

Весенний период

Ледовый режим в Вислинском заливе наблюдается с начала декабря до конца февраля – до конца марта, после че-

го с прогревом воды начинается интенсивное развитие водорослей [6].

Весной 2021 года в Вислинском заливе было выполнено три съёмки (8 апреля, 21 апреля, 17 мая). Диапазон концентраций хлорофилла «а» 8 апреля изменялся от 11 до 62 мкг/л, 20 апреля - от 28 до 80 мкг/л, 17 мая - от 20 до 72 мкг/л.

Наибольшие концентрации хлорофилла «а» отмечены в восточном районе 8 апреля, что связано с началом активной вегетации после таяния льда и обусловленных поступлением биогенных элементов со стоком реки Преголи. Наименьшие показатели в весенний период наблюдаются в центральном и прибалтийском районах, что можно объяснить интенсивным водообменом с Балтийским морем через морской канал.

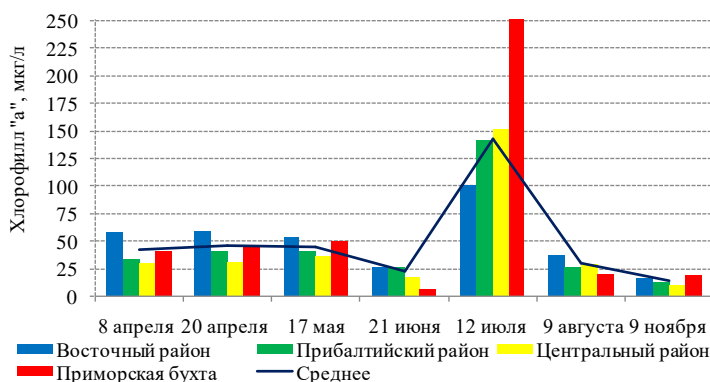


Рис. 2. Концентрации хлорофилла «а» в разных районах Вислинского залива в 2021 г.

Летний период

В летний период было выполнено три съёмки (21 июня, 12 июля, 9 августа). Диапазон концентраций хлорофилла «а» 21 июня изменяется от 5 до 37 мкг/л, 12 июля от 49 до 251

мкг/л, 9 августа от 20 до 35 мкг/л. В июле отмечен максимум концентраций хлорофилла «а» в период массового развития сине-зеленых водорослей. Наибольшие концентрации наблюдались в центральном районе и в Приморской бухте.

Осенний период

Осенью съёмка проводилась 9 ноября. Диапазон концентраций хлорофилла «а» варьировал от 9 до 19 мкг/л. С наступлением осени происходит снижение скорости фотосинтеза и понижение температуры воды, определяя более низкие концентрации хлорофилла «а», чем в другие сезоны. Наименьшие концентрации наблюдались в центральном районе, что связано с активным поступлением вод через морской пролив.

Эвтрофирование вод

Концентрации хлорофилла как показатель обилия фитопланктона являются важнейшим критерием в современных классификациях трофности вод. Оценка уровня эвтрофирования вод в 2021 г. была выполнена согласно классификации трофности вод, предложенной Г.Г. Винбергом и используемой для Вислинского залива в современный период [6, 7].

Весенний период характеризовался интенсивным развитием фитопланктона. Величины хлорофилла «а» на разных станциях изменялись от 11 до 72 мкг/л, находясь на одном среднем для акватории уровне (42-45 мкг/л), что соответствует эвтрофному уровню (10 - 100 мкг/л). В восточном районе наблюдались повышенные концентрации (в среднем больше 50 мкг/л), как следствие поступления биогенных элементов с речным стоком в период весеннего паводка.

Летний период характеризуется широким диапазоном концентраций хлорофилла «а» от 5 до 251 мкг/л. В июне наблюдалось снижение концентраций в среднем в 2 раза, как результат лимитирования биогенных элементов. Величины

хлорофилла «а» были наименьшими за летний период (в среднем для акватории 22 мкг/л), снижаясь в отдельных районах (Приморская бухта) до мезотрофного уровня (менее 10 мкг/л). Интенсивный прогрев воды способствует «цветению» сине-зелёных водорослей и в июле концентрация хлорофилла увеличивались многократно, достигая в среднем для акватории 143 мкг/л. Как следствие, величины хлорофилла «а» на большей части акватории были на гипертрофном уровне (более 100 мкг/л). Согласно предыдущим исследованиям, «цветение» сине-зеленых водорослей в Вислинском заливе имеет краткосрочный характер [6, 9]. Соответственно, в августе наблюдалось прекращение «цветения» и многократное снижение хлорофилла «а» (в среднем 30 мкг/л) и на всей акватории наблюдался эвтрофный уровень.

В осенний период из-за неблагоприятных природных условий (низкий прогрев вод, лимитирование солнечной радиации) происходит сезонное снижение развития фитопланктона и концентраций хлорофилла «а». В ноябре значения хлорофилла «а» в среднем для акватории составляли 14 мкг/л, в отдельных районах снижаясь до мезотрофного уровня (центральный район и у морского пролива).

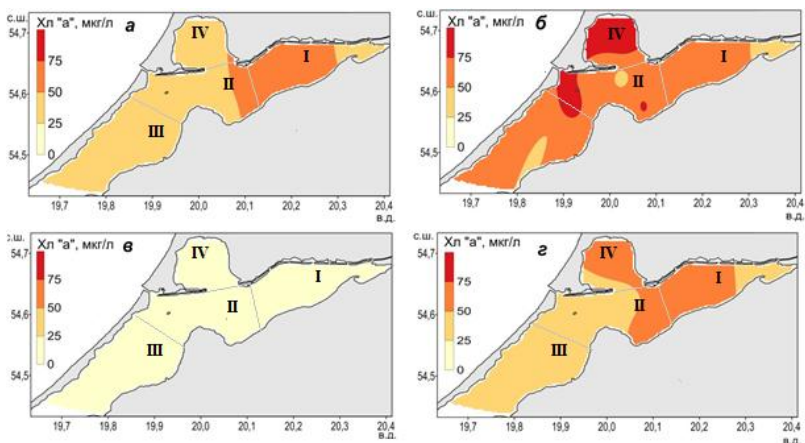


Рис. 3. Пространственное распределение хлорофилла «а» в Вислинском заливе: а) весенний, б) летний, в) осенний, г) в среднем за вегетационный период (апрель-ноябрь) 2021 г. (I - восточный район, II - прибалтийский район, III – центральный район, IV – Приморская бухта).

В среднем за вегетационный период (апрель-ноябрь) диапазон концентраций на отдельных станциях изменялся от 37 до 62 мкг/л. Наибольшие концентрации (более 50 мкг/л) наблюдались в восточном районе и Приморской бухте, как следствие поступления в эти районы биогенных элементов со сточными водами и более интенсивного цветения водорослей. Для Вислинского залива на протяжении большей части года наблюдалось эвтрофное состояние вод, которое имело кратковременное увеличение до гиперэвтрофного уровня, в период «цветения» сине-зелёных водорослей в августе 2021 г. Уровень и пространственное распределение хлорофилла «а» соответствует многолетним предыдущим исследованиям [2, 6, 9].

Качество вод

Хлорофилл «а» является одним из показателей качества вод, характеризую загрязнение вод акватории биогенными веществами и уровень развития водорослей, включая потенциально токсичные виды. Наиболее используемая классификация качества вод для Балтийского моря разработана в Финляндии [8]. Данную классификацию условно можно применять для Вислинского залива, который является лагуной Балтийского моря, с учётом более высокого уровня эвтрофирования вод залива по сравнению с открытой акваторией моря [6, 10].

Весенний период, когда происходит поступление биогенных элементов с речным стоком, качество вод соответствует условно «плохому» уровню (более 30 мкг/л).

В начале летнего периода происходит уменьшение обилия фитопланктона, и качество вод улучшается до «допустимого» уровня (12-30 мкг/л). Однако в период краткосрочного «цветения» сине-зелёных водорослей в июле 2021 г. качество вод значительно ухудшилось, многократно превышая условную границу «плохого» состояния вод. После окончания «цветения» воды качество воды снова улучшилось до «допустимого» уровня (август 2021 г.).

В осенний период, когда развитие фитопланктона значительно снижается из-за природных условий, качество вод соответствует «допустимому» уровню в восточном более эвтрофированном районе и «удовлетворительному» уровню (менее 12 мкг/л) в центральном и прибалтийских районах, где сказывается поступление морских вод.

В 1991-2007 гг. среднее за вегетационный период (апрель-ноябрь) содержание хлорофилла «а» варьировалось от 32 до 52 мкг/л, характеризую эвтрофный уровень и условно «плохое» качество вод Вислинского залива [6, 9]. На 2021 г. средняя концентрация хлорофилла «а» для российской акватории Вислинского залива составляла 48 мкг/л, что соответ-

ствуется наибольшим величинам по данным предыдущих лет, как следствие «гиперцветения» водорослей в июне 2021 г.

Выводы

1. Сезонная динамика хлорофилла «а» в Вислинском заливе в 2021 г. характеризовалась двумя пиками – длительным весенним и краткосрочным интенсивным летним.

2. На протяжении большей части и в среднем за вегетационный период (апрель-ноябрь) содержание хлорофилла «а» соответствовало эвтрофному уровню. Летом в июле отмечено «гиперцветение» водорослей и концентрации хлорофилла достигали наибольшего для водных экосистем гипертрофного уровня.

3. Содержание хлорофилла «а» в воде в весенний период соответствует условно «плохому» уровню качества вод, а в летний период варьирует от «допустимого» до «плохого» в период «цветения» водорослей. Осенью качество вод на большей части акватории улучшается до «удовлетворительного» уровня.

4. Средняя концентрация хлорофилла «а» для российской акватории Вислинского залива составляет 48 мкг/л, что соответствует наибольшим величинам по данным предыдущих лет, как следствие «гиперцветения» водорослей в июне 2021 г.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории гидробиологии С.Н. Архиповскому, Ю.В. Приставко за сбор и частичную обработку проб.

Литература

1. Chubarenko B., Margonski P. The Vistula Lagoon. Ecology of Baltic Coastal Waters // Ecological Studies. - 2008. – V. 197. – P. 167-196.

2. Александров С.В. Современное экологическое состояние и загрязнение Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Вода: химия и экология. - 2011. - № 11. - С. 3-9.

3. Александров С.В., Вахрушева С.А., Мальфанов И.Л., Тренина Н.Е. Пространственные изменения гидрохимических показателей и солености воды в Вислинском заливе в 2010-2013 годах // Труды АтлантНИРО. Новая серия. - 2017. - Том 1, № 3. – С. 5-21.

4. Александров С.В., Сташко А.В. Пространственное распределение и сезонная динамика биогенных элементов в Вислинском заливе в 2019 году // Известия КГТУ. – 2021. - № 60. – С. 11-21.

5. Горбунова Ю.А., Чубаренко Б.В., Домнин Д.А. Биогенная нагрузка на водосборный бассейн реки Преголя от антропогенных источников // Известия КГТУ – 2017. – № 47. – С. 34-45.

6. Александров С.В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Атлант. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Калининград: АтлантНИРО, 2010. – 228 с.

7. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: Изд-во АН БССР, 1960. - 329 с.

8. Vuoristo H. Water quality classification of Finnish waters // European Water Management. - 1998. - № 1 (6). - P. 35-41.

9. Александров С.В. Многолетние изменения трофического статуса Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Биология внутренних вод. – 2009. – №4. – С. 27-34.

10. Кудрявцева Е.А., Александров С.В., Дмитриева О.А. Сезонная изменчивость первичной продукции и состава фитопланктона в береговой зоне российского сектора Гданьского бассейна Балтийского моря // Океанологические исследования. - 2018. - Том 46, № 3. - С. 99 -115.

ОЦЕНКА СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛОЩАДЕЙ УРОВНЕЙ ОЗЕРА НУРГАН

Н.А. Панютин¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

В статье с помощью спутниковых снимков проведена оценка сезонных колебаний площадей озера Нурган (Монголия). Измерения опираются на материалы гидрометрических изысканий, выполненных в 2019 году в районе ледника Эрегтийн. Рассмотрены причины изменений площади озера в течение года.

ASSESSING SEASON CHANGES OF SQUARES OF LAKE NURGAN LEVELS

N.A. Paniutin¹

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

The author assessed season changes of squares of lake Nurgan (Mongolia) by using satellite imagery. The measurements are based on data hydrometric surveys which were in 2019 in the area of the Erehtiin Glacier. The reasons for the changes of squares of the lake during the year are considered.

Введение

В условиях возможной прорывоопасности огромного количества озер Алтая изучение фильтрации их вод через морену практически не проводилось. Для оценки среднего объема воды, фильтрующегося через морену, возможно использование спутниковых снимков, по которым можно вычислить изменение уровня озера по изменению площадей водного зеркала в период отсутствия абляции. Однако для этого необходимо выбрать водоем, где ранее проводились гидрометрические измерения объема водной массы.

Объектом исследования стало озеро Нурган. Оно располагается в горном узле Цамбагарав, находящегося в центральной части Монгольского Алтая на северо-западе Монголии.

Многолетние колебания площадей уровней озера Нурган

По мнению исследователей озеро начало образовываться на поверхности льда, уже потерявшего движение, расположенного ниже ледника Эрегтийн после кульминации Малого ледникового периода, что соответствует интервалу около 1810—1820 гг [1]. На настоящий момент контакта озера с ледником не наблюдается, однако оно по-прежнему связано с ним посредством двух относительно крупных ручьев, берущих начало на леднике и впадающих в водоем. Основным источником питания оз. Нурган являются талые воды ледника и снежников. Поступление воды за счет выпадения жидких атмосферных осадков не столь значительно, однако при этом стоит учитывать особенности погодных условий каждого определенного года. По этой причине, вероятно водоем содержит наибольшие объемы воды в котловине в весенне-летний сезон.

В июле — августе 2019 г. в рамках экспедиционных изысканий научно-исследовательским отрядом Санкт-Петербургского государственного университета были выполнены комплексные исследования района данного озера. Результаты полевых работ представлены в публикациях [2] и [3].

По результатам батиметрической съемки, выполненной 4-го августа 2019 года с надувной весельной лодки с помощью электронного эхолота-картплоттера Garmin ECHOMAP 42cv (Garmin Ltd., Taiwan) [3], площадь акватории водоема оценена величиной $62\,140\text{ м}^2$, при объеме водной массы $513\,620\text{ м}^3$. На момент выполнения съемки длина озера составляла 350 м, при максимальной ширине равной 315 м.

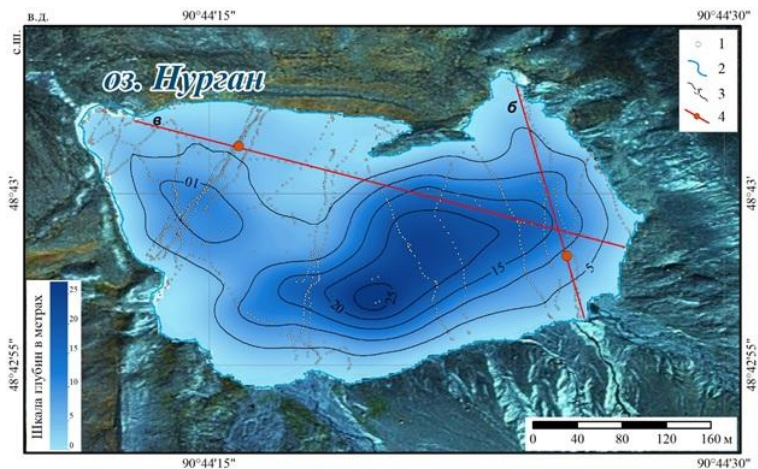


Рис. 1. Батиметрическая схема озера Нурган: 1- пункты измерения глубин; 2- береговая линия; 3- изобаты (сечение 5 м); 4- положение разрезов.

На момент экспедиционных изысканий было определено, что оз. Нурган претерпело с момента формирования существенное сокращение площади и объема водной массы, а также направления стока моренно-подпрудного озера. Геоморфологические наблюдения показали, что на северном склоне озерной котловины сохраняются две террасы, фиксирующие бывшие уровни воды с высотными отметками 2988 и 2991,5 м, что значительно выше современного уровня водоема. При этом анализ космического снимка Corona от 11.08.1968 г. показал, что площадь озера составляла 54 450 м², т.е. была меньше современной [3]. Это говорит о существенных изменениях площади зеркала озера в течение всего периода его существования.

Материалы и методы

В работе использовались данные дистанционного зондирования Земли архива Геологической службы (ГС) США (USGS).

Сами снимки были созданы американским спутником дистанционного зондирования «Landsat 8».

Для оценки внутрисезонных колебаний зеркала озера использовался архив спутниковых снимков территории северо-запада Монголии за период 2017–2021 гг. Обработка и расчет площадей спутниковых снимков производился с помощью ГИС-инструментов. Для сравнения площадей зеркала озера использовались снимки периода начала и окончания абляции (весна и осень). Сам период абляции определялся по наличию снежного покрова вокруг озера. Спутниковые снимки, сделанные в период сильной облачности в районе исследования, не использовались.

Были выделены полигоны по очертаниям водного зеркала оз. Нурган и ГИС-программой рассчитана площадь (см. рис.2)

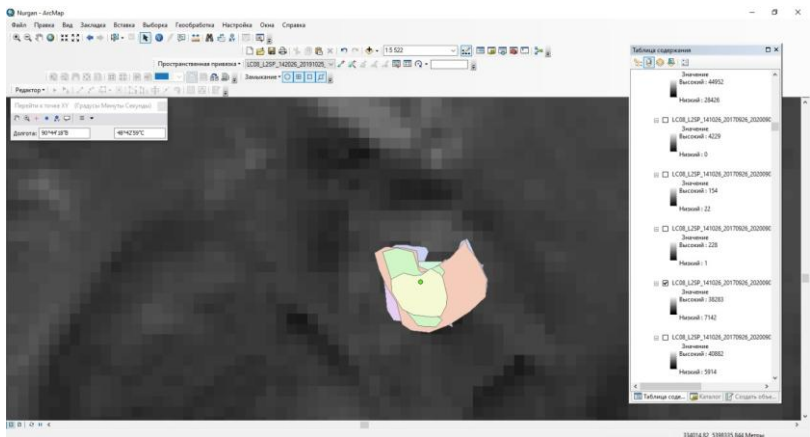


Рис.2. Скриншот программы ArcGIS, в которой выполнялся расчет площадей зеркала озера.

Внутригодовые колебания площадей уровня оз. Нурган

Согласно проведенным расчетам площадь зеркала озера изменялась с 27 173 м² до 54 490 м², т.е. изменялось практически на 50%. Результат за 2017—2021 гг приведен в табл. 1.

Таблица 1. Измеренные площади оз. Нурган по спутниковым снимкам

Дата	Измеренная площадь оз. Нурган, м ²
21 сентября 2021 года	42 065,5
7 мая 2021 года	35 006,5
2 сентября 2020 года	51 925,1
18 апреля 2020 года	41 248,5
3 ноября 2019 года	35 617,6
12 июня 2019 года	27 906
6 октября 2018 года	28 527,3
22 апреля 2018 года	54 490,8
17 сентября 2017 года	27 866
28 мая 2017 года	27 173,2

Как видно из представленной таблицы площадь зеркала оз. Нурган обычно увеличивается за период абляции (апрель — ноябрь) и уменьшается в другую половину года (декабрь — март) за исключением 2018 г. Очевидно, что объем озера, а следовательно и площадь, увеличивается за счет талых вод с

ледника Эрегтийн. Однако, в период отсутствия талых вод, площадь озера уменьшается, что может говорить о наличии подземного стока через морену.

Для оценки подземного стока через морену необходимо провести моделирование.

Литература

1. Ганюшкин Д.А., Отгонбаяр Д., Чистяков К.В. и др. Современное оледенение хребта Цамбагарав (Северо-Западная Монголия) и его изменение с максимума малого ледникового периода//Лед и снег, 2016, т.56, № 4, с. 437-452.
2. Распутина В.А., Ганюшкин Д.А., Банцев Д.В., Пряхина Г.В., Вуглинский В.С., Свирепов С.С., Панютин Н.А., Волкова Д.Д., Николаев М.Р., Сыроежко Е.В. Оценка прорывоопасности малоизученных озер массива Монгун-Тайга//Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, №3, 2021. –с. 487-509.
3. Пряхина Г.В., Кашкевич М.П., Попов С.В., Распутина В.А., Боронина А.С., Ганюшкин Д.А., Агатова А.Р., Непоп Р.К. Формирование и развитие моренного (приледникового) озера Нурган, северо-западная Монголия//Криосфера Земли, №4, 2021. –с. 26-25.

ПОПОЛНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ О МИКРОПЛАСТИКАХ В РОССИЙСКИХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕХ: МАТЕРИАЛЫ ЭКСПЕДИЦИЙ 2019-2021 ГГ.

А.П. Педченко¹, канд. геогр. наук, Г.А. Кантаков², канд. геогр. наук, Я.Ю. Блиновская³, д-р техн. наук, М.В. Гаврило^{4,5}, канд. биол. наук, И.А. Крутиков⁶, М.А. Губанищев⁷, М.Ю. Двинин⁷

¹ ФГБНУ «ВНИРО», 107140, г. Москва, Верхняя Красносельская. 17

² НПО «ДЭКО», 693004, г. Южно-Сахалинск, пр. Мира, 426, офис 404

³ ФГАОУ ВО «ДФУ», 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10

⁴ Ассоциация «Морское наследие: исследуем и сохраним», 199106, г. Санкт-Петербург, наб. Лейтенанта Шмидта, 23 линия, ледокол «Красин»

⁵ ФГБУ «ААНИИ», 199397, г. Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38;

⁶ ФГАОУ ВО РГПУ им. А. И. Герцена, 191186, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48

⁷ Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ПИНРО), г. Мурманск, ул. Книповича д.6

REPLENISHMENT OF QUANTITATIVE DATA ON MICROPLASTICS IN THE RUSSIAN ARCTIC SEAS: MATERIALS OF EXPEDITIONS 2019-2021

A.P. Pedchenko¹, PhD, G.A. Kantakov², PhD, Ya.Yu. Blinovskaya³, Dr. Sc., M.V. Gavrilov^{4,5}, PhD, I.A. Krutikov⁶, M.A. Gubanishchev⁷, M.Yu. Dvinin⁷

¹ Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

² FEEC Ltd. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

³ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

⁴ Association “Maritime Heritage: sustain and explore”, St. Petersburg, Russia

⁵ Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

⁶ Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

⁷ Polar branch of VNIRO (PINRO), Murmansk

Представлены сведения об объеме наблюдений ФГБНУ «ВНИРО» для количественной оценки микропластика в Арктических морях в 2019-2021 гг. Отмечена необходимость расширения мониторинга пластика в воде, включая траления нейстонными сетями со счетчиками протока воды и его регистрацию дистанционными методами.

Data on the volume of observations of VNIRO for quantitative assessment of microplastics in the Arctic seas in 2019-2021 are presented. The necessity of expanding the monitoring of plastics in the water, including trawling with neuston nets with water flow meters and its registration by remote methods, was noted.

Загрязнение вод пластиковым мусором и микропластиком признано актуальной экологической проблемой, изучению которой в Арктике уделяется большое внимание. Морской мусор и микропластик рассматриваются как тотальная угроза местам обитания гидробионтов, морских млекопитающих и птиц, в целом морским экосистемам на всех уровнях, и, в конечном итоге, здоровью человека. Эксперты рабочей группы по защите морской среды Арктики (РАМЕ) Арктического Совета отметили актуальность дальнейшего проведения этих работ в Баренцевом море и Северном Ледовитом океане [1].

Представленная работа иллюстрирует результаты наблюдений ФГБНУ «ВНИРО» в Арктических морях, выполненных с использованием нейстонной сети «Манта» в 2019-2021 гг. и единые методические подходы к количественной оценке загрязнения микропластиком поверхностных вод.

Первые исследования, выполненные в ходе трансарктической экспедиции на НИС «Профессор Леванидов» в августе-сентябре 2019 г. (39 нейстонных станций), показали, что наибольшему загрязнению микропластиком подвержены

Карское и Чукотское моря, в которые полимерные частицы приносятся течениями из Атлантики и Тихого океана. Опыт проведения сетного облова микропластика, накопленный в этой экспедиции, использован при проведении исследований на мелководном шельфе Арктических морей в 2020 г. и первой международной съемки микропластика в Баренцевом море в 2021 г.

Отбор проб проводили в поверхностном слое морей 15 минутными тралениями по ходу судна при скорости от 2,3 до 3,8 узлов нейстонной сетью типа «Манта» с размером ячеек сетного полотна 335 мкм, оснащенной цифровым счетчиком протока воды, при состоянии поверхности моря не более 5 баллов.

Фактическую дистанцию тралений (м) вычисляли по отсчетам счетчика протока воды (General Oceanics, модель 2030R), объем профильтрованной воды (m^3) – с учетом площади рамки сети, погруженной в воду. Его использование позволило учесть условия лова и внешние воздействия на сеть таких факторов как дрейф судна, течения, волнение моря.

В судовых условиях выполнили распознавание частиц пластика в собранных пробах под микроскопом. В дальнейшем, в лабораториях, провели выделение частиц микропластика методом флотации, определили их линейные размеры и массу. Идентификацию полимеров выполнили методами инфракрасной микроскопии и спектрофотометрии автоматическим сравнением спектров с данными встроенной библиотеки.

В августе-октябре 2020 г. сбор проб микропластика выполнен по маршруту следования учебного парусного судна (УПС) барк «Седов» из Владивостока в Мурманск по Северному морскому пути. В водах северо-западной части Тихого океана и на мелководном шельфе Арктических морей выполнено 29 нейстонных тралений, которые дополнили объем сетных наблюдений 2019 г. (рис. 1).

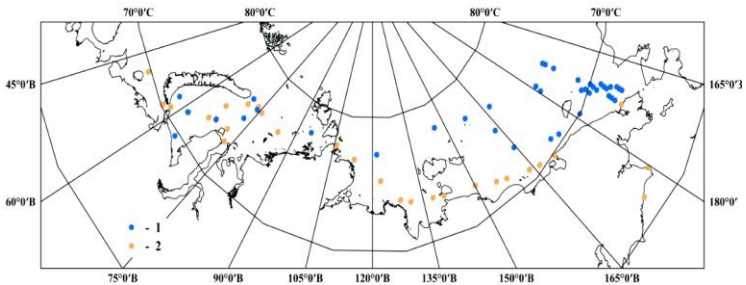


Рис. 1 – Положение станций отбора проб в Арктических морях на содержание микропластика в августе-сентябре 2019 г. (1) и августе-октябре 2020 г (2)

В 2021 г. наблюдения микропластика выполнены на обширной акватории Баренцева моря и сопредельных вод. Важно отметить, что Баренцево море классифицируется как район Мирового океана с низким уровнем загрязнения окружающей среды, в котором показатели стойких органических загрязнителей были стабильными или снижались в последние два десятилетия [2].

В июне 2021 г. в ходе экспедиции Арктического плавучего университета на НЭС "Михаил Сомов" выполнен сбор микропластика на 4 нейстонных станциях по маршруту следования судна, в местах характеризующих водообмен Баренцева моря с сопредельными водами: в южной части акватории (Горло Белого моря), в западной (в районе Колгуево-Печерского течения) и в проливе между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля (у м. Желания и в районе Северо-Восточного желоба).

В последние десятилетия в рамках совместной российско-норвежской экосистемной съемки Баренцева моря (BESS) выполняется сбор данных о загрязнении вод морским мусором с выделением в его составе макропластика по траловым уловам [3, 4]. Значительным шагом в развитии этих наблюдений стало решение, принятое в феврале 2019 г., на уровне руководителей профильных министерств Норвегии и России о совместных усилиях по борьбе с пластиковым загрязнением Баренцева моря.

В августе-сентябре 2021 г. в соответствии с решением Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству была выполнена первая совместная масштабная съемка для оценки загрязнения микропластиком вод Баренцева моря. В рамках комплексного мониторинга запасов промысловых рыб и среды их обитания выполнен сбор морского мусора и проб микропластика по единой методике. С учетом ранее выполненных модельных расчетов переноса пассивных частиц [5], был предложен и согласован план выполнения нейстонных тралений. Его реализация позволит оценить распре-

деление микропластика и проследить перенос полимерных частиц поверхностными течениями Баренцева моря (рис. 2).

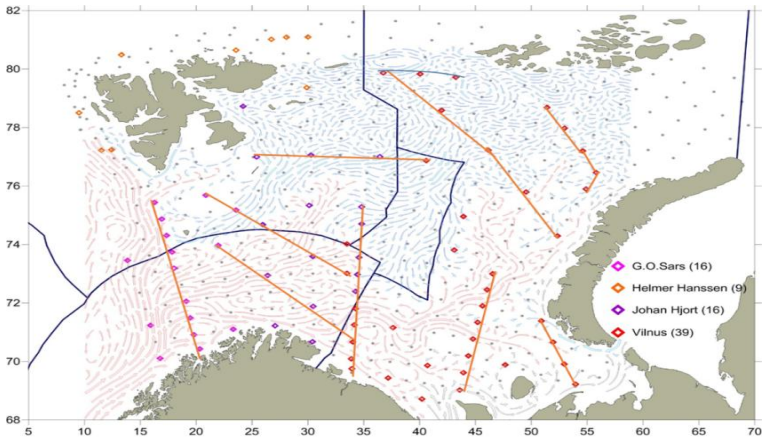


Рис. 2 – Положение нейстонных станций отбора проб микропластика на акватории экосистемной съемки Баренцева моря и сопредельных вод в августе-сентябре 2021 г.

Материалы, собранные в экспедициях 2021 г. дополнили объем наблюдений микропластика на материковом шельфе российской Арктики. Это в дальнейшем позволит получить реальное представление о его составе, местах локализации, объемах поступления в Баренцево море и дальнейшего переноса в Арктический бассейн. Общий объем сетных количественных сборов проб микропластика в 2019-2021 гг. в каждом из арктических морей представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Количество наблюдений ФГБНУ «ВНИРО» и регистрации микропластика (без учета волокон) на станциях в арктических морях в 2019-2021 гг.

Год	Показатели	Районы наблюдений					
		Чукотское море	Восточно-Сибирское море	Море Лаптевых	Карское море	Баренцево море	всего
2019	Количество наблюдений, станции	23	7	1	8	0	39
	Количество регистраций микропластика, станций	4	2	0	3	0	9
2020	Количество наблюдений, станции	1	6	6	11	2	26
	Количество регистраций микропластика, стан-	0	5	1	7	1	14

	ций						
2021	Количество наблюдений, станции	0	0	0	0	43	43
	Количество регистраций микропластика, станций	0	0	0	0	27*	27
ВСЕ-ГО	Количество наблюдений, станции	24	13	7	19	45	108
	Количество регистраций микропластика, станций	4	7	1	10	28	50

Примечание: * - визуальный анализ проб.

В пробах 2019 года синтетические частицы были обнаружены в 9 из 39 отобранных проб. Количество частиц микропластика в пробах варьировало от 1 до 4 шт.; их размер - от 0,15 до 5 мм, при общей их массе в пробе от 0,00019 до 0,005 г. Идентификация частиц показала, что в пробах доминировал поливинил, полиэтилен и полистирен. [6]. Обработка и идентификация 26 проб, отобранных в мелководной шельфовой зоне арктических морей в 2020 г., обнаружили присутствие

полимерных частиц на 14 станциях. В пробах отмечали: полиэтилен, полипропилен, поливинил, полистирен. Повышенного содержания частиц микропластика в пробах не выявлено. Также отмечали, синтетические волокна, природные материалы (глина, песчаник, частицы металла, дерево) [7].

Пробы, собранные в российской части Баренцева моря в 2021 г. находятся в обработке. Однако, визуальный анализ состава нейстонных уловов выявил присутствие полимерных частиц в 27 из них.

Представленные данные позволяют говорить, что встречаемость частиц микропластика в пробах 2019-2021 гг не превышает 46%. Наибольшая встречаемость полимерных частиц отмечена в Баренцевом и Карском морях. Полученные количественные оценки позволяют говорить о низкой степени загрязнения микропластиком вод морей российской части Арктики по сравнению с другими районами Мирового океана.

В декабре 2021 г. на НИС «Академик Келдыш» на переходе через Атлантику в Южный океан начата апробация новой методики количественной оценки распределения морского мусора на морской поверхности с использованием цифровых технологий регистрации плавающих объектов камерами GoPro-9. Сбор данных основан на протоколе, предложенном Ocean Clean Up (www.theoceancleanup.com), и включает фоторегистрацию с обоих бортов судна в светлое время суток, последующий анализ последовательных цифровых снимков с использованием искусственного интеллекта [8]. Дешифрирование данных фото регистрации позволит получить площадные количественные оценки загрязнения вод пластиком по

маршруту следования судна через северную и южную атлантическую циркуляции, а также дополнить спектр методов количественной оценки загрязнения макро-, и микропластиком морей Мирового океана.

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководителям Росрыболовства, ректору ФГБОУ ВО «КГТУ» В.А. Волкогону за содействие в организации научных работ на борту УПС «Седов» в 2020 г., а его экипажу и курсантам за оказанную помощь при проведении наблюдений. Также выражаем благодарность руководителям и специалистам Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО», принимавшим участие в организации и сборе проб микропластика в ходе российско-норвежской экосистемной съемки Баренцева моря в 2021 г., руководству Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова, членам экспедиции «Арктический плавучий университет - 2021» и экипажу НЭС «Михаил Сомов», оказавшим содействие в сборе проб микропластика.

Литература

1. PAME. 2019. Desktop study on marine litter including microplastics in the Arctic. Proceedings of the 11th Arctic Council Ministerial Meeting, Rovaniemi, Finland, 118p.
2. ICES. 2017. Report of the Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea. WGIBAR Report 16–18 March 2017, Murmansk, Russia. ICES CM 2017/SSGIEA:04. p. 186.
3. Grøsvik BE, Prokhorova T, Eriksen E, Krivosheya P, Horneland PA, Prozorkevich D. 2018. Assessment of marine litter in the Barents Sea, a part of the joint Norwegian-Russian ecosystem survey // Front. Mar. Sci., 06 March 2018 |

<https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00072>.

4. *Novikov, M.A., Gorbacheva, E.A., Prokhorova, T.A., Kharlamova, M.N.* 2021. Composition and distribution of marine anthropogenic litter in the Barents Sea. *Oceanology*. 61, 48–57.

5. *Аверкиев А.С.* 2013. Закономерности реакции верхнего слоя в промысловых и прибрежных районах морей России на атмосферное воздействие: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук: 25.00.28 / Аверкиев А.С. Санкт-Петербург. 2013. - 34 с.

6. *Педченко А.П., Блиновская Я.Ю.* 2020. Трансарктическая экспедиция ВНИРО: Результаты исследований микропластика в Арктических морях в 2019 г. // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика // Сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2020. – с. 203-205.

7. *Педченко А.П.* 2021. Исследования загрязнения микропластиком морей Северного Ледовитого океана в 2019-2020 гг // сб. «Современные методы и средства океанологических исследований» (МСОИ-2021) / Материалы XVII международной научно-технической конференции. Том II. – М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 2021. – с. 216-220.

8. *de Vries, R.; Egger, M.; Mani, T.; Lebreton, L.* 2021. Quantifying Floating Plastic Debris at Sea Using Vessel-Based Optical Data and Artificial Intelligence. *Remote Sens.* 2021, 13, 3401. <https://doi.org/10.3390/rs13173401>.

МОНИТОРИНГ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ В РАЙОНАХ СИЛЬНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

С.А. Резников канд.геол.-мин.наук, И.В. Макарова.
ФГБУ «Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону»

Систематический комплексный мониторинг загрязнения окружающей среды на озере Байкал в районах сильного антропогенного воздействия осуществляется более 50 лет. Действующая в настоящее время на озере система контроля состояния природной среды позволяет охарактеризовать качество экосистемы озера. В настоящее время наибольшую опасность для озера представляют полициклические ароматические углеводороды, которые накапливаются в донных отложениях. Наиболее сильное загрязнение бенз(а)пиреном отмечено в песчаных отложениях в районе выпуска канализационных очищенных сточных вод г. Байкальска.

MONITORING OF BOTTOM SEDIMENTS OF LAKE BAIKAL IN AREAS OF STRONG ANTHROPOGENIC IMPACT

S.A. Reznikov Candidate of Geological Sciences, I.V. Makarova.

Federal State Budgetary Institution " Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don

Systematic comprehensive monitoring of environmental pollution on Lake Baikal in areas of strong anthropogenic impact has been carried out for more than 50 years. The current system of monitoring the state of the natural environment on the lake allows us to characterize the quality of the lake's ecosystem. Currently, the greatest danger to the lake is represented by polycyclic aromatic hydrocarbons, which accumulate in the bottom sediments. The most severe contamination of benz(a)pyrene was noted in sandy sediments in the area of the release of sewage treated wastewater in the city of Baikalsk.

Введение

С 1969 г. Росгидромет проводит комплексные систематические наблюдения за состоянием природной среды озера Байкал, которые включают в себя гидрохимический, геохимический, микробиологический и гидробиологический контроль за состоянием водной толщи, донных отложений и атмосферных выпадений в местах сильного антропогенного воздействия: район выпуска канализационных очищенных стоков (КОС) г. Байкальска (ранее сточные воды Байкальского ЦБК), район влияния трассы Байкало-Амурской магистрали (БАМ) на севере озера и авандельта р. Селенга. В настоящее время система контроля озера уникальна по своей информативности, что позволяет решать важнейший вопрос в мониторинге – определение зон влияния сточных вод.

Материалы и методы

Перечень контролируемых показателей выполняемых в ФГБУ «ГХИ» на протяжении всего периода наблюдений с 1969 г. остается относительно постоянным – 8 гидрохимических показателей в грунтовой воде: растворенный кислород, минеральный азот (нитратный, нитритный, аммонийный), фосфатный фосфор, органические кислоты летучие, органические кислоты нелетучие, летучие фенолы и 7 геохимических показателей: органический азот, органический углерод, сульфидная сера, легкогидролизуемые углеводы-гемипеллюлоза (ЛГУ), трудногидролизуемые углеводы-целлюлоза (ТГУ), лигнино-гумусовый комплекс-лигнин (ЛГК), относительное содержание в сумме органических веществ (ТГУ+ЛГУ/Общая органика) непосредственно в донных отложениях. Химико-аналитический анализ проб донных отложений выполнялся в лабораториях ФГБУ «Иркутское УГМС» по общепринятым методикам.

С 2010 г. в донных отложениях стали определяться полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Вследствие слабой растворимости ПАУ в воде полиарены могут накапливаться в донных отложениях. Основной упор в ис-

следованиях был сделан на индикаторный представитель полиаренов ПАУ: 3,4 – бенз(а)пирен (БП), как широко распространенный и весьма стойкий арен, имеющий в основном антропогенный генезис. Последний является суперэкоксикантом первого класса опасности. Загрязнение донных отложений озера отражает воздействие антропогенного фактора за длительный промежуток времени. Химико-аналитические определения ПАУ в донных отложениях озера проводились по общепринятым методикам в Институте проблем мониторинга ФГБУ «НПО «Тайфун».

Геохимический мониторинг ПАУ озера представляет достаточно сложную задачу, для решения которой необходим систематический контроль содержания ПАУ/БП в элементах природной среды.

Особенности геохимического мониторинга донных отложений. По данным многолетних гидрохимических и геохимических наблюдений на озере были определены размеры зоны загрязнения в районе выпуска КОС г. Байкальска, последние рассчитывались по суммарному показателю, как превышение среднего содержания ингредиентов контроля грунтовой воды и донных отложений составляли: на глубинах до 380 м в 2014 г. – 5,1 км², в 2015 г. – 4,5 км², в 2016 г. – 3,7 км², в 2017 г. – 7,3 км², в 2018 г. – 6,9 км², на глубинах до 680 м в 2019 г. – 6,7 км², на глубинах до 700 м в 2020 г. – 6,5 км². Данные определения свидетельствуют о некоторой относительной стабилизации в годовом (суммарном) расчете антропогенной нагрузки на качественный состав донных отложений района мониторинга.

В России из приоритетного списка 16 аренов ПАУ были введены ПДК на бенз(а)пирен для обязательного определения в воде, воздухе и почве, но для донных отложений водоемов они отсутствуют. Оценка загрязненности донных отложений по бенз(а)пирену проводилась по Шкале сравнительных оценок загрязнения донных отложений внутриконтинентальных водоемов, разработанных в Институте химии

АН Эстонии: фоновая концентрация – для песков не должны превышать 2,0 нг/г с.о., для глинистых илов 5,0 нг/г с.о.; умеренная концентрация – соответственно 2,0-5,0 нг/г с.о. и 5,0-30,0 нг/г с.о.; на сильно загрязненных участках – соответственно более 5,0 нг/г и более 30 нг/г с.о.[1]. Представленная шкала в своем литолого-геохимическом плане является единственной в практике определения экологической нагрузки на различные типы донных отложений водоемов, количественно отмечая накопление БП, как в илах, так и в песках. Более 70% как бенз(а)пирена, так и других СОЗ (стойкие органические загрязнители) находится в сорбированном состоянии в составе взвешенного вещества речных выносов.

Район выпуска КОС г. Байкальска. Многолетние исследования по изучению накопления БП в донных отложениях полигона показали неоднородный характер загрязнения поверхностного слоя. Накопление арена в водной толще озера в настоящее время не определяется. Вследствие сложного геоморфологического строения полигона проявляется, и сложная система разнонаправленного подводного течения, которая влияет на механизм накопления арена в различных литологических типах донных отложений. Существуют три характерные зоны седиментации в водоемах, которые по фракционному составу донных отложений определяют следующие области: взмучивания, переходная и халистатическая. Для района выпуска КОС г. Байкальска характерна, как зона взмучивания, где больше получили свое развитие в основном разномерные пески и крупноалевритовые илы, так и переходная зона, где развиты преимущественно алевропелитовые илы. Сорбционная емкость донных отложений зависит от их литологического состава, чем меньше дисперсность донных отложений, тем выше их сорбционная емкость.

Поэтому по литолого-морфологическим особенностям для геохимического анализа площадь полигона, с учетом гранулометрического анализа и литературных данных [2], была разделена с учетом глубин на две части. Глубины

до 100 м, где в основном представлены разнозернистые пески, и крупноалевритовые илы последние проходят в тексте, как *пески* и глубоководные отложения (глубины более 100 м), представленные мелкоалевритовыми и глинистыми илами в тексте – *илы*. В целом карто-схема донных отложений озера с годами не меняется, поэтому гранулометрический состав анализируемых проб нет необходимости часто определять. Глубина волнового воздействия на дно озера в целом проявляется до 30 м.

На глубинах менее 100 м, где развиты песчаные отложения, средняя концентрация БП составила 7,8 нг/г с.о. при диапазоне значений 0,1-31,6 нг/г с.о. что в два раза меньше, чем в 2019 году – 15,7 нг/г с.о. и составляет 3,0 % от суммы всех полиаренов. По вышеприведенной Шкале пески на полигоне относятся к сильно загрязненным донным отложениям. Всего было проанализировано 11 проб песков.

Среднее содержание бенз(а)пирена в донных отложениях в 2020 г. на глубинах более 100 м (илы) составило 13,4 нг/г с.о. (диапазон значений 1,8-32,4 нг/г с.о.), что 1,5 раза меньше, чем в 2019 г. последнее составляет 5,1% от суммы всех полиаренов. В 2019 г. содержание арена составляло 20,5 нг/г с.о. Согласно Шкале сравнительных оценок донных отложений внутриконтинентальных водоемов, содержание БП в 2020 г. в илах полигона соответствует умеренному загрязнению – норматив Шкалы 5,0-30,0 нг/г с.о. Всего было проанализировано 21 проба илов. В целом в 2020 г. среднее содержание БП в донных отложениях на полигоне составило 10,6 нг/г с.о., т.е. значительно уменьшилось по сравнению с 2019 г. – 18,1 нг/г с.о.

Авандельта р. Селенга. В литолого-геохимических плане на авандельте реки отбор проб донных отложений для комплексного анализа ориентировался на глубины в пределах 25 м, как на физико-геохимическую область в маргинальном фильтре в зоне смешения речной и озерной воды, где происходит активное осаждение пелитовой фракции

взвешенного вещества твердого речного стока и растворенных веществ это область аккумуляции мелкоалевритовых илов.

В годовом аспекте основная масса водного стока реки в озеро осуществляется через протоку Усть-Харауз. В придельтовой области реки происходит аккумуляция твердого речного стока, волнения и течения здесь не в состоянии переработать всю привносимую массу обломочного материала, которая без достаточной механической обработки и дифференциации осаждается в непосредственной близости от основных русел, так на глубинах менее 10 м залегают разнозернистые пески.

В 2020 г. в донных отложениях на авандельте р. Селенга было отобрано 13 проб (из них 4 пробы в районе речных выносов основной протокой Усть-Харауз) по той же сетке, как и в предыдущие годы наблюдений. Среднее содержание БП в донных отложениях всего полигона в 2020 г. по сравнению с 2019 г., уменьшилось, как на основном полигоне, так и в зоне выносов основной протокой Усть-Харауз. Все отобранные пробы донных отложений относятся к глинистым илам.

В содержаниях БП в донных отложениях в 2020 г. в районе речных выносов протокой Усть-Харауз по сравнению с 2019 г. отмечено значительное снижение содержания арена в 1,7 раза с 5,0 нг/г с.о., до 2,9 нг/г с.о. Также отмечено уменьшение в 2020 г. по сравнению с 2019 г. содержания БП в донных отложениях на самом полигоне в 1,4 раза с 3,0 нг/г с.о. до 2,1 нг/г с.о. Содержание БП на полигоне составляет 2,1% от общего содержания полиаренов. Исходя из вышесказанного уровень загрязненности донных отложений БП на авандельте р. Селенга в 2020 г., так же, как и в 2019 г. можно отнести к фоновому (< 5,0 нг/г с.о.).

Район влияния трассы БАМ на севере озера. Характерной особенностью распределения донных отложений на полигоне является упорядоченное распределение литологи-

ческих типов донных отложений по площади дна озера. Механическая дифференциация осадочного материала здесь проявляется более четко, чем на контролируемом участке в районе выпуска КОС г. Байкальска. Донные отложения прибрежной полосы озера сформированы в основном под влиянием стока рек Кичера и Тья и терригенного поступления (смыва) с береговой полосы. В данном участке наблюдений гидродинамические условия благоприятствуют осаждению преимущественно мелкоалевритового материала.

В июне 2020 г. было отобрано 17 проб донных отложений. Все они относятся литологически к мелкоалевритовым илам. Район выхода трассы БАМ, наиболее подверженный поступлению загрязняющих веществ, куда входят шесть станций, расположена на побережье между городами Севербайкальск и Нижнеангарск далее в тексте назван Участок.

Содержание БП в июне 2020 г на полигоне составило 1,5 нг/г с.о. и на Участке полигона 2,9 нг/г с.о., что составляет соответственно 1,7 % и 2,4 % от суммы полиаренов в данных объектах исследований. В сентябре 2020 г., было отобрано 18 проб. Относительно 2019 г., отмечалось уменьшение содержаний бенз(а)пирена, как на самом полигоне с 3,4 нг/г с.о до 1,5 нг/г с.о., так и на Участке, с 4,0 до 2,9 нг/г с.о. В целом загрязненность донных отложений бенз(а)пиреном района БАМ и Участка в июне и сентябре 2020 г. можно отнести к фоновым значениям (5,0 нг/г с.о.).

В 2019 году были возобновлены комплексные наблюдения за состоянием водной толщи и донных отложений на *Малом море*. В литолого-геохимическом плане поверхностный слой донных отложений Малого моря (пелоген) представляет собой глинистые илы с находками корочек-конкреций гидроокислов железа. Максимальное содержание бенз(а)пирена в донных отложениях Малого моря было приурочено к максимальной глубине полигона. Среднее содержание составляло 0,3 нг/г с.о. при размахе величин 0,1-0,8 нг/г с.о., что составляет 0,5 % от суммы полиаренов. В 2019 г.

содержание бенз(а)пирена в донных отложениях было соответственно 0,9 нг/г с.о., 0,1 и 2,2 нг/г с.о. Фоновая концентрация для глинистых илов составляет 5,0 нг/г с.о. поэтому содержание арена в 2020 г. относится к фоновым. В перспективе изучения природных условий Малого моря необходимо увеличить количество станций отбора проб, особенно в прибрежной зоне озера и включить их в Комплексную Программу работ на озере Байкал в последующие года.

Выводы. В настоящее время наибольшую опасность для экосистемы озера Байкал представляют канцерогенные ПАУ-БП, которые накапливаются в донных отложениях озера. БП зафиксирован в донных отложениях во всех контролируемых районах озера. Наиболее сильное загрязнение ПАУ отмечено в песчаных отложениях в районе выпуска КОС г. Байкальска (более 5,0 нг/г с.о.). Вследствие того, что ФГБУ «Иркутское УГМС» до настоящего времени не определяет содержание БП в воде озера невозможно в определенной степени качественно определить миграцию и поступление БП в наблюдаемых районах озера.

Литература

1. Трапидо М.А. Распределение канцерогенных ПАУ и мониторинг водной среды (на примере водоемов Прибалтийского региона) Автореферат дис. канд. биол. наук. Л.1985. – 20 с.
2. Страхов Н.М и др. Образование осадков в современных водоемах. Изд. Акад.наук СССР. М.1954 -771с.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТИХОГО, ИНДИЙСКОГО И АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНОВ С ГЛОБАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОС- ЦИЛЛЯЦИЕЙ

И.В. Серых, Д.М. Сонечкин

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Рос-
сия

Обнаружено, что в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах крупномасштабная структура пространственных и временных вариаций температуры воды в диапазоне временных масштабов от года до примерно десятилетия, свойственная для Глобальной атмосферной осцилляции, распространяется от поверхности до глубины приблизительно 150 метров.

INTERACTION OF TEMPERATURE FLUCTUATIONS IN THE PACIFIC, INDIAN AND ATLANTIC OCEANS WITH GLOBAL ATMOSPHERIC OSCILLATION

I.V. Serykh, D.M. Sonechkin

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia

It has been found that in the Pacific, Indian and Atlantic Oceans, the large-scale pattern of spatial and temporal variations in water temperature in the range of time scales from one year to about a decade, characteristic of the Global Atmospheric Oscillation, extends from the surface to a depth of about 150 meters.

Введение

Глобальная атмосферная осцилляция (ГАО) была найдена как сопутствующая чередованию Эль-Ниньо и Ла-Нинья в динамике океана и атмосферы в приэкваториальной полосе Тихого океана [1-3]. Оказалось, что формально очень небольшие отклонения оси вращения Земли от ее номинального положения (чандлеровское колебание полюсов и лунно-солнечная нутация), а также очень небольшие периодические изменения солнечной активности, заметно воздействуют на динамику глобальной климатической системы [4-6]. Эти воздействия осуществляются таким образом, что самые различные процессы, происходящие в районах Земли, зачастую весьма удаленных друг от друга, синхронизируются между собой и с процессами Эль-Ниньо – Южного Колебания (ЭНЮК) во временном масштабе от двух до примерно восьми лет [7-9].

Было предположено, что так называемый Полюсный прилив, возбуждаемый чандлеровским колебанием оси вращения Земли (главный период равен примерно 1.2 года), отражаясь от тихоокеанских берегов Северной Америки, трансформируется в прибойную волну [10]. Эта волна, в силу конфигурации тихоокеанского побережья Северной Америки, распространяется в сторону Панамского перешейка. Там она приводит в движение в сторону экватора очень теплую поверхностную воду, которая всегда существует у побережья Панамского перешейка. Если в это же время (осенью северного полушария) Зона Внутритропической Конвергенции начинает смещаться в сторону экватора, то масса приводимых в движение теплых вод оказывается столь велика, что возникают положительные аномалии температуры воды у поверхности, характерные для Эль-Ниньо.

Полюсные приливы распространяются с запада на восток противофазно в обоих полушариях и не только в океанах, но и в атмосфере. Потенциально они способны влиять на все крупномасштабные процессы, происходящие в глобальной

климатической системе не только в тропиках, но и во внетропических широтах. Однако каковы механизмы таких воздействий было неизвестно до тех пор пока не было показано [10], как отраженная волна северотихоокеанского Полюсного прилива способствует возникновению Эль-Ниньо.

В данной работе исследовано, имеется ли в Тихом, Индийском и Атлантическом океанах крупномасштабная структура пространственных и временных вариаций температуры воды, которая является аналогичной структуре ГАО. Для этого проанализированы ставшие доступными лишь недавно данные о распределении температуры в толщах этих океанов. Найдено, что такая аналогичность действительно имеет место [11]. Вариации температуры воды в диапазоне временных масштабов от года до примерно десятилетия оказались синхронными с соответствующими вариациями приповерхностной температуры над акваториями океанов, свойственными ГАО.

Данные и методика

Анализировались данные температуры на 50 различных глубинах океанического реанализа ECCO (the Estimating the Circulation and Climate of the Ocean project) Версия 4 Выпуск 4 (ECCO-V4r4) на сетке $0.5 \times 0.5^\circ$ охватывающие период 1992-2017 гг.. Для анализа более продолжительного периода использовались данные температуры на 50 различных глубинах океанического реанализа GECCO2 (German contribution of the ECCO) на сетке $1 \times 1^\circ$ за период 1948-2016 гг. и GECCO3 за период 1948-2018 гг.. Полученные результаты проверялись по данным температуры океана на 42 глубинах ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) Ocean Reanalysis System 4 (ORAS4) на сетке $1 \times 1^\circ$ за период 1958-2017 гг. и ORAS5 за период 1958-2018 гг.. Также исследовались данные GLORYS12V1 за 1993-2018 гг. с высоким горизонтальным разрешением $1/12^\circ$. Дополнительно анализировались данные теплосодержания верхних 100, 300 и 700 мет-

ров океана предоставленные Institute of Atmospheric Physics (IAP) на сетке $1 \times 1^\circ$ за период 1940-2019 гг.. А также данные теплосодержания верхнего 700-метрового слоя океана на сетке $1 \times 1^\circ$ за период 1955-2017 гг., предоставленные National Oceanographic Data Center (NODC). Глобальные среднемесячные поля давления на уровне моря были взяты из реанализа NCEP/NCAR на сетке $2.5 \times 2.5^\circ$ за 1948-2019 гг..

В каждом узле сетки рассчитывалось среднее годовое изменение для рассматриваемого периода, которое затем вычиталось из исходных данных для получения аномалий относительно годового хода. Линейные тренды индексов рассчитывались по методу наименьших квадратов за рассматриваемый период, и затем удалялись из рассматриваемых рядов. Нормализация временных рядов осуществлялась путем деления на стандартные отклонения этих рядов за рассматриваемый период. Для полосовой фильтрации использовался фильтр Баттерворта.

ГАО можно охарактеризовать всего одним числом – индексом ГАО, который вычисляется как сумма нормированных значений аномалий давления на уровне моря в десяти географических районах, совпадающих с экстремумами (максимумами и минимумами) в поле ГАО. Индекс ГАО вычисляется по следующей формуле: $GAO = P(5^\circ \text{ ю.ш.} - 5^\circ \text{ с.ш.}, 35^\circ - 25^\circ \text{ з.д.}) + P(5^\circ \text{ ю.ш.} - 5^\circ \text{ с.ш.}, 55^\circ - 65^\circ \text{ в.д.}) + P(5^\circ \text{ ю.ш.} - 5^\circ \text{ с.ш.}, 145^\circ - 155^\circ \text{ в.д.}) + P(55^\circ - 65^\circ \text{ с.ш.}, 95^\circ - 85^\circ \text{ з.д.}) + P(65^\circ - 55^\circ \text{ ю.ш.}, 95^\circ - 85^\circ \text{ з.д.}) - P(5^\circ \text{ ю.ш.} - 5^\circ \text{ с.ш.}, 95^\circ - 85^\circ \text{ з.д.}) - P(45^\circ - 55^\circ \text{ с.ш.}, 175^\circ - 165^\circ \text{ з.д.}) - P(45^\circ - 55^\circ \text{ с.ш.}, 15^\circ - 5^\circ \text{ з.д.}) - P(55^\circ - 45^\circ \text{ ю.ш.}, 15^\circ - 5^\circ \text{ з.д.}) - P(55^\circ - 45^\circ \text{ ю.ш.}, 175^\circ - 165^\circ \text{ з.д.})$, где P – средние аномалии давления на уровне моря в районах с указанными координатами. Если из индекса ГАО исключить все тропические регионы, то получится вне-тропический индекс ГАО: $EGA O = P(55^\circ - 65^\circ \text{ с.ш.}, 95^\circ - 85^\circ \text{ з.д.}) + P(65^\circ - 55^\circ \text{ ю.ш.}, 95^\circ - 85^\circ \text{ з.д.}) - P(45^\circ - 55^\circ \text{ с.ш.}, 175^\circ - 165^\circ \text{ з.д.}) - P(45^\circ - 55^\circ \text{ с.ш.}, 15^\circ - 5^\circ \text{ з.д.}) - P(55^\circ - 45^\circ \text{ ю.ш.}, 15^\circ - 5^\circ \text{ з.д.}) - P(55^\circ - 45^\circ \text{ ю.ш.}, 175^\circ - 165^\circ \text{ з.д.})$.

Результаты

Первое, что надо сделать для проверки предположения о том, что в толще мирового океана существует некоторый аналог ГАО, это построить поля средних разностей между аномалиями температуры воды на разных глубинах, которые соответствуют противоположным фазам ГАО. Такие поля показаны на Рис. 1 для аномалий температуры на глубинах 6-220 метров. Противоположные фазы ГАО при этом определены по индексу EGAO.

Обратим внимание на акваторию Индийского океана. В приэкваториальной зоне Индийского океана существует так называемый Индоокеанский диполь (ИД). В положительной фазе ИД характеризуется отрицательными аномалиями температуры водной поверхности у берегов Суматры и положительными аномалиями температуры в Аравийском море. Однако, на поле ГАО на глубинах 6-27 метров ИД отсутствует, т.к. почти вся приэкваториальная зона Индийского океана характеризуется положительными аномалиями температур. Очень небольшая область отрицательных аномалий температуры видна только к югу от Суматры, но назвать ее полностью представляющей ИД трудно.

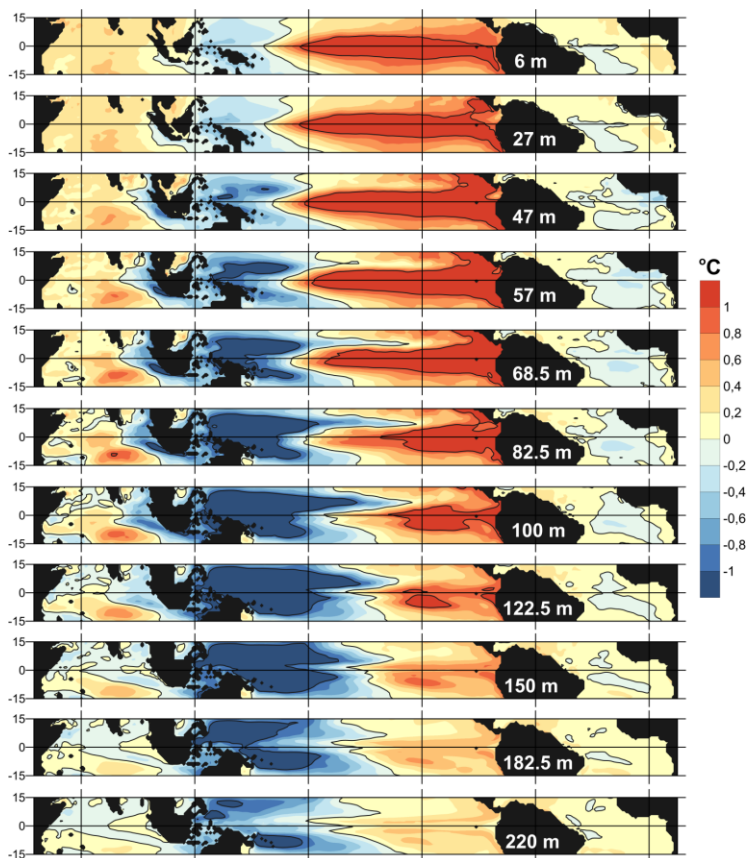


Рис. 1. Средние амплитуды колебаний аномалий температуры на различных глубинах от 6 до 220 метров между противоположными фазами ГАО (по EGAO) по данным GECCO3 за период 1948-2018 гг.

Пространственная структура, похожая на ту, что соответствует положительной фазе ИД, все же появляется, если увеличивать глубину рассматриваемой температуры воды. Наибольшее сходство достигается на глубинах 50-80 метров. ИД

менее четко виден на полях для глубин 100-150 метров. После этого пространственная структура не только ИД, но и языка положительных разностей аномалий температур в районе «классического» Эль-Ниньо на востоке приэкваториальной зоны Тихого океана сильно деградирует. На еще больших глубинах сходство между пространственными структурами ГАО и разностей температур воды почти исчезает.

Выводы

В данной работе продемонстрировано, что вариации температуры воды в приэкваториальной зоне Тихого океана на глубинах до примерно 150 метров ведут себя так же, как вариации уровня моря и температуры водной поверхности.

Вариации температуры воды распространяются с востока на запад вдоль экватора [11]. Одним из периодов этого восточно – западного распространения является период в 14 месяцев. Это позволяет думать, что данное распространение управляется Полусными приливами, которые, в свою очередь, вызываются чандлеровским колебанием полюсов Земли. Поверхностный северотихоокеанский Полусный прилив был найден ранее ответственным за возбуждение Эль-Ниньо в Тихом океане [10]. Глубинные Полусные приливы в южной Атлантике и Южном Индийском океане, по-видимому, являются триггерами атлантического Эль-Ниньо и так называемого Индоокеанского диполя (ИД) соответственно.

Любопытно, что ИД очень слабо выражен в поле температур водной поверхности на востоке Индийского океана. По этой причине можно сомневаться, что триггером ИД является чередование усиления и ослабления пассатов над архипелагом Индонезии. В толще приповерхностного примерно 150-метрового слоя ИД выражен гораздо лучше. Это согласуется с предположением о том, что триггером ИД является глубинный Полусный прилив на юге Индийского океана. Отражаясь от западных берегов Австралии, этот прилив может интенсифицировать холодное западноавстралийское течение.

При этом противофазное поведение ИД и тихоокеанского Эль-Ниньо можно объяснить 180-градусной разницей в долготах этих феноменов.

Литература

1. Серых И.В. О динамике и структуре Глобальной атмосферной осцилляции в климатических моделях и реальности // Океанологические исследования. 2018. Т. 46. № 1. С. 14-28.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Serykh I.V., Sonechkin D.M. El Niño forecasting based on the global atmospheric oscillation // International Journal of Climatology. 2021. Vol. 41. pp 3781–3792.
9. Серых И.В. О роли Эль-Ниньо – Глобальной атмосферной осцилляции в межгодовой изменчивости гидрометеорологических

процессов. Гидрометеорология и экология. 2021. № 63. С. 329–370.

10. 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.
11. Serykh I.V., Sonechkin D.M. Interrelations between temperature variations in oceanic depths and the Global atmospheric oscillation // Pure and Applied Geophysics. 2020. Vol. 177. No. 12. pp 5951–5967.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Сухинов А.И.¹, Проценко Е.А.², Сидорякина В.В.², Проценко С.В.²

¹ Донской государственный технический университет (ДГТУ), Ростов-на-Дону, Россия

² Таганрогский институт имени А.П. Чехова (филиал) Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), Таганрог, Россия

Настоящая статья посвящена разработке алгоритмов решения модельных задач и их численной реализации для исследования волновых процессов прибрежных систем и их гидродинамического воздействия на территорию побережья. Прикладным объектом исследования будет одно из крупнейших водных объектов Юга России – Цимлянское водохранилище. Для «локального» участка водохранилища проведены исследования гидродинамических характеристик волнового воздействия на берегоукрепительные сооружения, такие как расчет волнового давления водного потока и силового гидродинамического воздействия.

NUMERICAL SIMULATION OF HYDRODYNAMIC IMPACT ON SHORE PROTECTION STRUCTURES OF TSIMLYAN RESERVOIR

Sukhinov A.I.¹, Protsenko E.A.², Sidoryakina V.V.², Protsenko S.V.²

¹ Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia

² Taganrog Institute named after A.P. Chekhov (branch) of Rostov State Economic University (RINH), Taganrog, Russia

This article is devoted to the development of algorithms for solving model problems and their numerical implementation for the study of wave processes in coastal systems and their hydrodynamic impact on the coastal territory. The applied research object will be one of the largest water bodies in the South of Russia - the Tsimlyansk reservoir. For the "local" section of the reservoir, studies of the hydrodynamic characteristics of the wave impact on the bank protection structures were carried out, such as the calculation of the wave pressure of the water flow and the hydrodynamic force impact.

Цимлянское водохранилище построено около 70 лет назад плотинной одноимённой гидроэлектростанции на реке Дон. Оно относится к равнинному типу и имеет площадь акватории 2702 км². Относительно высокие берега Цимлянского водохранилища сложены легко разрушаемыми осадочными породами невысокой прочности. Водохранилище имеет очень низкую лесистость берегов и поэтому ветровая деятельность и высокие волны регулярно подвергают берег интенсивной переработке [1–4]. Эрозионная деятельность проявляется в образовании промоин и обрушении берегового склона. Высота образовавшихся обрывов достигает 8 – 12 м. Наибольшему влиянию волны подвержен правый берег водохранилища, в связи с чем, здесь образуются обвалы, осыпи, крупные глыбы известняков и песчаников. Для укрепления и защиты берегов используются современные средства защиты, среди которых широкое распространение получил габионный тип крепления. В районе г. Цимлянска (вблизи Приморского парка) берег укреплен при помощи стен из коробчатых габионов. Авторами приведены результаты исследования волнового и силового воздействия на берегозащитные сооружения данного типа на основе математического и численного моделирования.

В качестве математической модели трехмерной волновой гидродинамики используется, разработанная в авторском коллективе

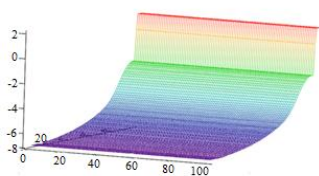
трехмерная модель, базирующаяся на уравнениях Навье-Стокса, уравнении неразрывности для несжимаемой жидкости [5, 6]. Модель учитывает наряду с общепринятыми факторами, такими, как ветровое напряжение на свободной поверхности, трение о дно и пр., также испарение и выпадение осадков не только в уравнении неразрывности, но и в уравнениях движения водной среды, что является существенным для акваторий крупных водохранилищ. Дискретизация уравнений гидродинамики выполнена при использовании метода поправки к давлению.

Для реализации модельных задач гидродинамики разработан программный комплекс [7, 8], реализованный на языке C++. Реализованные в программном комплексе параллельные алгоритмы решения модельных задач систем сеточных уравнений, возникающих в процессе дискретизации модифицированным адаптивным переменнo-треугольным методом вариационного типа, разработаны с использованием технологии MPI.

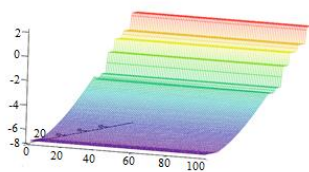
После разработки программного комплекса были выполнены численные эксперименты по моделированию волнового воздействия на берегозащитные конструкции, представляющие собой подпорные стены из коробчатых габионов двух типов: первый тип – стена из коробчатых габионов с устройством фундамента из цилиндрических габионов; второй тип – стена из коробчатых габионов с устройством армогрунта и засыпки пространства между берегозащитной стенкой и береговым откосом.

Для численного решения модельных задач рассматривался участок с размерами 200 м на 200 м по горизонтали и 10 м по вертикали. Для расчетной области строилась равномерная сетка с размерами $200 \times 200 \times 100$, шаги сетки по горизонтали – 1 м, по вертикали – 0.1 м. Моделируемая геометрия дна согласовывалась с реальной картой глубин исследуемой области; максимальная глубина составляет 8 м.

С целью подготовки входных данных, построена цифровая карта глубин расчетной области для каждого из указанного типа берегозащитных сооружений (Рис. 1).



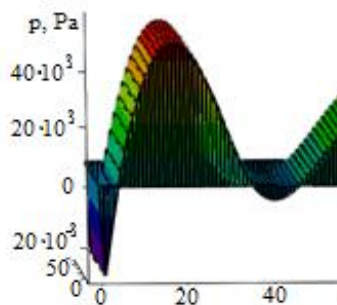
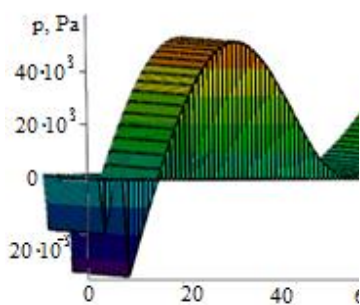
(a)



(b)

Рис. 1. Геометрия расчетной области в начальный момент моделирования для различных типов берегозащитных сооружений ((a), (b) представляют первый и второй тип берегозащитных сооружений соответственно)

На рис. 2 приведены результаты расчета волнового давления при обтекании водной средой надводного тела.

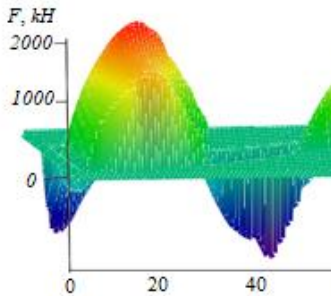


(a)

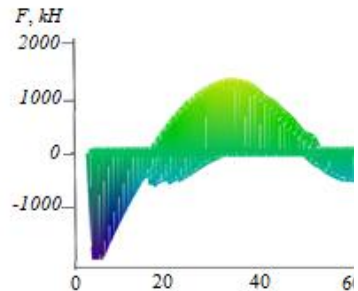
(b)

Рис. 2. Эпюры волнового давления для различных типов берегозащитных сооружений ((a), (b) представляют первый и второй тип берегозащитных сооружений соответственно)

На рис. 3 представлены результаты численных экспериментов по построению прогноза движения водной среды при наличии габионных конструкций; рассчитаны силовые гидродинамические нагрузки на рассматриваемые сооружения.



(a)



(b)

Рис. 3. Эпюры силового воздействия для различных типов берегозащитных сооружений ((a), (b) представляют первый и второй тип берегозащитных сооружений соответственно)

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-01-00701_a).

Литература

1. Su X., Nilsson C., Pilotto F., Liu S., Shi S., Zeng B. Soil erosion and deposition in the new shorelines of the Three Gorges Reservoir

- // Sci. Total Environ, 2017; 599–600, pp 1485–1492. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.001.
2. Хоружая Т.А., Минина Л.И. Оценка экологического состояния Цимлянского, Пролетарского и Веселовского водохранилищ // Метеорология и гидрология, 2017. № 5. С. 117–122.
 3. Шумова, Н. А. Анализ динамики разрушения берегов Цимлянского водохранилища // Аридные экосистемы, 2017. Т. 23, № 3(72). С. 95–103.
 4. Лобченко Е.Е., Минина Л.И., Ничипорова И.П., Первышева О.А. Динамика качества воды Цимлянского водохранилища (за период с 1979 по 2014 годы) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, 2016. № 6. С. 74–92.
 5. Sukhinov A.I., Protsenko E.A., Sidoryakina V.V., Protsenko S.V. Numerical simulation of bottom topography transformation taking into account the coastal shore protection structures // Journal of Physics Conference Series 1745(1):012102. DOI: 10.1088/1742-6596/1745/1/012102.
 6. Sukhinov A.I., Chistyakov A.E., Protsenko E.A., Sidoryakina V.V., Protsenko S.V. Wave hydrodynamics discrete models construction and research // IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1029(1):012086. DOI:10.1088/1757-899X/1029/1/012086.
 7. 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, 2020. № 32:2. С. 3–23. DOI: <https://doi.org/10.20948/mm-2020-02-01>
 8. 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. С. 196–206. DOI: 10.26089/NumMet.v21r318

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА РЕКАХ ПРИМОРЬЯ

В.А. Сушкова¹.

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

Основной целью работы является оценка повторяемости, интенсивности, продолжительности, тенденций и причин, произошедших опасных гидрологических явлений на реках бассейна Японского моря. Полученные количественные оценки характеристик наводнений, в том числе их повторяемости, указывают на необходимость срочного принятия мер по обеспечению безопасной жизнедеятельности на прибрежных территориях.

DANGEROUS HYDROLOGICAL PHENOMENA ON THE RIVERS OF PRIMORYE

V.A. Sushkova¹

¹Russian state hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

The main purpose of the work is to assess the frequency, intensity, duration, trends and causes of hazardous hydrological phenomena in the rivers of the Sea of Japan basin. The obtained quantitative estimates of the characteristics of floods, including their frequency, indicate the need for urgent measures to ensure safe life in the coastal areas.

Введение

Территория Приморья включает бассейн р.Уссури (в пределах территории Российской Федерации) и бассейны рек, впадающих в Японское море. Занимаемая им территория вытянута с юга-запада на северо-восток вдоль берегов Японского моря и Татарского пролива почти на 1500 км в виде узкой полосы (наибольшая ширина 300-330 км) [1].

Для рек Приморья характерными являются паводки в теплый период года и крайняя неустойчивость стока в холодный период. Часто паводки непрерывно следуют один за другим. Дождевые паводки наблюдаются обычно до сентября, но в отдельные годы проходят в октябре и даже в начале ноября.

Для водного режима приморских рек характерно и весеннее половодье, на которое накладываются дождевые паводки. Весеннее половодье наступает в апреле-мае, в это время проходит до 20-30% годового объема стока.

Паводки каждого второго-третьего года ведут к затоплению территории. За период с 1867 по 2014 год в Приморском крае произошло более 100 наводнений, в том числе 24 катастрофических.

В соответствии с действующей в системе Росгидромета инструкцией [2] опасные гидрометеорологические явления (ОЯ) это – метеорологические, агрометеорологические, гидрологические и морские гидрометеорологические явления и (или) комплекс гидрометеорологических

величин, которые по своему значению, интенсивности или продолжительности представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб объектам экономики и населению.

Также существует термин «неблагоприятное гидрометеорологическое явление (НГЯ)». НГЯ – «гидрометеорологическое явление, которое значительно затрудняет или препятствует деятельности отдельных предприятий и отраслей экономики и по своим значениям не достигает критериев ОГЯ. Неблагоприятные гидрометеорологические явление не представляет угрозы безопасности людей [2].

Примеры расчёта характеристик наводнений

Для гидрологического поста р.Бикин-ст.Звеньёй с установленными отметками НГЯ и ОГЯ, по данным многолетних наблюдений за наивысшими уровнями воды определялись годы с превышением критических отметок. Устанавливались причины формирования опасных уровней. Далее производится оценка однородности многолетнего ряда наивысших уровней, рассчитывается кривая распределения (рис.3) их ежегодных вероятностей превышения и её параметры (таблица 1), по которой определяется обеспеченность установленных для гидрологического поста критических значений уровня (НГЯ, ОГЯ). Определяется обеспеченность наивысшего в году уровня и величина его превышения над отметками НГЯ, ОГЯ. После, в соответствии с принятыми показателями (таблица 2) определяется категория опасности наводнения по обеспеченности наблюденного наивысшего уровня воды и величине его превышения отметок НГЯ, ОГЯ (таблица 3) [3].

Также для каждого гидрологического поста с установленными критериями НГЯ, ОГЯ была проведена оценка повторяемости наводнений за многолетние наблюдения.

Хронологический график повторяемости ОГЯ и НЯ на реках Приморья (1900-2019 г.) (рис.1), (рис.2).

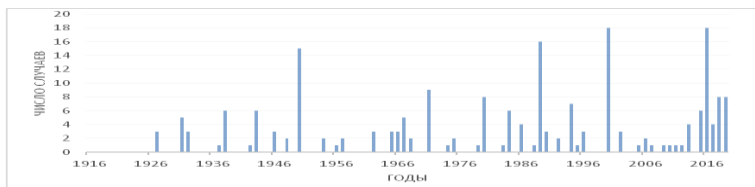


Рис. 1 Хронологический график повторяемости ОГЯ на реках Приморья (1900-2019 г.)

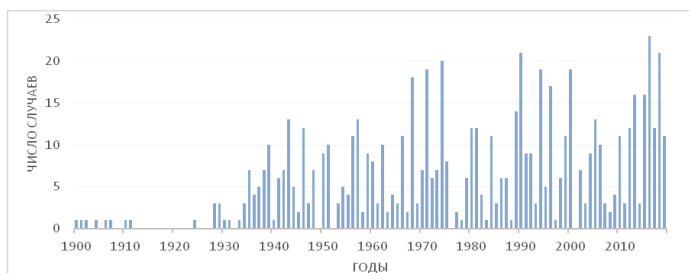


Рис. 2 Хронологический график повторяемости НЯ на реках Приморья (1900-2019 г.)

Для гидрологического поста р.Бикин-ст.Звеньевой с установленными критериями ОГЯ и НЯ в соответствии с методикой расчета наводнений [3] были проведены расчёты характеристик навод-

нений. Оценка однородности ряда по критерию Стьюдента и Фишера показала, что он является стационарным.

Кривая обеспеченности высших в году уровней воды (рис.3).

Таблица 1 – Обеспеченные значения высших уровней воды р.Бикин-ст.Звеньевой

Период набл.	Среднее значение H, см	Cv расч.	Cs расч.	Обеспеченные значения высших уровней воды ,см				
				1%	2%	5%	10%	20%
1935- 2019	373	0,21	0,27	572	545	511	476	437

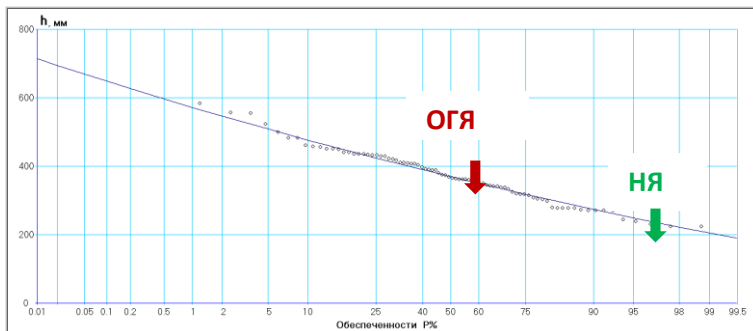


Рис. 3 Кривая обеспеченности высших уровней воды р.Бикин-ст.Звеньевой.

По кривой обеспеченности наивысших уровней воды (рис.3) определено, что обеспеченность уровней ОГЯ и НЯ составила 6,57% и 26,9% соответственно.

Уровни воды превышали отметку ОГЯ за период с 1935 по 2019 г. – 4 раза, отметку НЯ – 25 раз (рис.4).

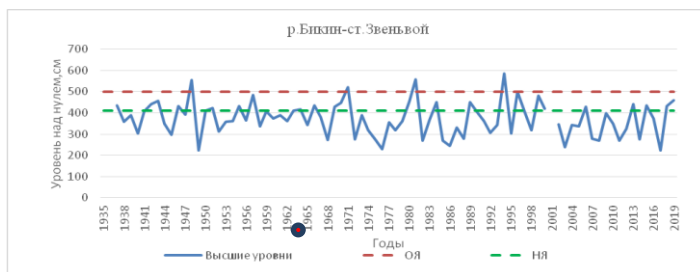


Рис. 4 Высшие уровни воды р.Бикин-ст.Звеньевой.

Таблица 2– Категории опасности наводнений и их показатели

Показатель опасных наводне- ний	Категории опасных наводнений			
	чрезвычайно опас- ные (катастрофиче-	весьма опасные	опасные	умеренно опасные
Обеспеченность наивысшего уров- ня воды в период	$P < 1$	$1 < P < 2$	$2 < P < 5$	$5 < P < 10$
Превышение наивысшего уровня	$H > 2$	$1 < H < 2$	$0,5 < H < 1$	$H < 0,5$

Таблица 3 - Категории опасности наводнений при уровнях воды, превышающих отметку ОГЯ по гидрологическому посту р.Бикин-ст.Звеньевой

Дата	Наивысший уровень воды ,см	Обеспеченность , %	Категория опасности по показателям обеспеченности	Превышение над отметкой ОГЯ , см	Категория опасности по показанию превышения над	Причина наводнения

					ОГЯ	
30.07. 1948	554	1,67	весьма опасное	54	опас- ные	Дож- девые па- водки
20.08. 1971	522	4,28	опасные	22	уме- ренно опас- ное	Дож- девые па- водки
11.08- 12.08. 1981	557	1,56	весьма опасное	57	опас- ные	Дож- девые па- водки
18.07. 1994	584	0,56	чрезвы- чайно опасное	84	опас- ные	Дож- девые па- водки

В таблице 4, для уровней воды превышающих отметку ОГЯ, представлен ряд характеристик, позволяющих объективно охарактеризовать опасное гидрологическое явление (наводнение) в момент наибольшего затопления. Как следует из этих данных, высшие уровни воды были зафиксированы в июле и августе и сформированы по большей части вследствие дождевых паводков. Так в июле 1994 года был зафиксирован максимальный уровень воды, вызванный дождевым паводком, и по показанию обеспеченности

этот год относится к чрезвычайно опасным, а по категории опасности превышающую отметку над ОГЯ – опасным.

Выводы

1. Количество НЯ на реках Приморья превышают ОГЯ.

2. Наибольшее число ОГЯ на гидрологических постах наблюдается в 2000 и 2016 годах и составляет 18 случаев в год.

3. Наибольшее число НЯ на гидрологических постах наблюдается в 2016 году и составляет 23 случая в год.

4. В дальнейшем в работе будут представлены расчеты по 68 гидрологическим постам, выполненная оценка повторяемости, интенсивности и продолжительности опасных гидрологических явлений, приведены последствия опасных гидрологических явлений.

Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 18, Приморье [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1972 – 626 с.

2. РД52.04.563 – 2002 Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения, СПб, Гидрометеоиздат, -2002, -27 с

3. Отчёт о НИР/ ФГБУ ГГИ; Руководитель С.А. Журавлев УДК 556.5 № ГР АААА-А20.-СПб.,- 2020. - 173с.

4. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах

поверхностных вод суши, Том 1, РСФСР, Выпуск 21, Бассейны Уссури и рек Японского моря [Текст] – Л.: Гидрометеиздат, 1988 – 706 с.

5. Гидрологический ежегодник. Том 9. Выпуск 0-5, 1936-2008 г.г.;

6. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. – Л.: Гидрометеиздат, 1990.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАИБОЛЕЕ ЛЁГКИХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ

В. Ю. Третьяков^{1,2}, канд. геогр. наук, В. В. Дмитриев¹, д-р геогр. наук, А. В. Еговцева¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Арктический и Антарктический НИИ, Санкт-Петербург, Россия

V. Yu. Tretyakov^{1,2}, Ph. Dr, V. V. Dmitriev¹, Dr. Sc., A. V. Egovtseva¹

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Обсуждаются результаты оценки изменчивости ледовых условий плавания по Северному морскому пути в сентябре, т.е. во время наименьшего развития ледяного покрова за период 1997-2021 гг.

There is considered inter-year variability of ice conditions along the Northern sea route in September when area of the Arctic ice cover is minimal for 1997-2021.

Введение

Использование Северного Морского пути (СМП) для транзитных перевозок между странами Восточной Азии и Западной Европы является одной из приоритетных задач развития экономики России [1]. В ближайшем будущем Северный морской путь должен стать ключевым элементом транспортной системы сообщения между арктическими регионами России [2]. В 2020 году Президентом России была утверждена Стратегия развития Арктической зоны РФ и обеспечение национальной безопасности до 2035 года. Второй этап реали-

зации Стратегии (2025-2030 гг.) предусматривает осуществление круглогодичного судоходства на протяжении всей акватории СМП [3]. Естественен вопрос: насколько отмечаемые изменения климата Арктики способствуют достижению этой задачи? Лето 2020 года было самым теплым за период наблюдений с 1951 г., и был достигнут минимум площади ледяного покрова с 2012 г. [4]. После зимы 2003/04 гг. произошли значительные изменения в возрастном составе льдов арктических морей России. Наибольшее значение имеет сокращение площади старых льдов. Средняя толщина ледяного покрова к концу холодного периода (апрель-май) сократилась от 1.5 м (1997-2003 гг.) до 1.2 м (2004-2018 гг.) [5]. Отмечено сокращение средней толщины льдов на маршруте Мурманск – Северный Полюс. Так, в 90-е годы она составляла около 187 см, а в 2021 году – только 95 см [6]. Анализ данных за 1942 – 2018 гг. показал, что начиная с 2003 г. происходит аномально позднее осеннее ледообразование в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском [7]. Сравнение 20-летнего (1989-2008 гг.) и 10-летнего (2009-2018 гг.) периодов показало увеличение продолжительности безледного периода более чем на месяц [8]. Однако существуют прогнозы увеличения летней площади льдов до середины 2030-х годов и смещения кромки льдов в южном направлении к концу 2020-х гг., а также возможного снижения навигационного периода на СМП в ближайшие 10 – 20 лет [9]. Естественно, что необходимо выполнение статистического анализа для выявления или опровержения наличия значимых изменений ледовой обстановки на трассах СМП.

Материалы и методы

Арктический и Антарктический НИИ (ААНИИ) обладает Архивом векторных ледовых карт в формате шейпфайлов ESRI, созданных специалистами Центра ледовой гидрометеорологической информации путем дешифровки спутниковых снимков. Наше исследование выполнено на основе таких

карт, содержащих информацию о сентябрьской ледовой обстановке за 1997-2021 гг. за исключением 2004 года, для которого ледовая информация отсутствует. В сентябре на акватории СМП наблюдается наиболее лёгкая ледовая обстановка. Поэтому анализ межгодовой изменчивости ледовых условий по трассе СМП в сентябре позволяет определить наличие тенденций изменения наиболее лёгких условий плавания. Проанализированы ледовые условия в пределах буферной зоны вокруг транзитной трассы СМП «Карские Ворота – Берингов пролив». Местоположение трассы задано с учётом обеспечения возможностей плавания судов с большой осадкой, например, газозовов серии «Кристоф де Маржери». Ширина буферной зоны – 20 км, поскольку судоводитель способен в условиях хорошей видимости визуально оценивать ледовую ситуацию на расстоянии от каждого борта, обычно не превышающем 10 км. Проанализирована межгодовая динамика отношения суммарной площади участков чистой воды в пределах буферной зоны к общей площади последней, а также отношения суммарной площади участков чистой воды и участков с общей сплоченностью льдов не более 3 баллов (льды занимают не более 30% площади акватории) к площади буферной зоны. Пространственные операции и пространственный анализ выполнен в средах ГИС Quantum GIS и ArcGIS с использованием специально разработанных моделей рабочих потоков и компьютерных программ на языке Python. Временная изменчивость проанализирована отдельно для каждой из трёх декад сентября. Если к декаде относились ледовые карты за два срока производства спутниковых снимков, то для анализа использовались осреднённые за эту декаду величины. На рисунке 1 представлены буферная зона трассы СМП, и ледовая ситуация в первые декады сентября 1997 и 2021 гг.

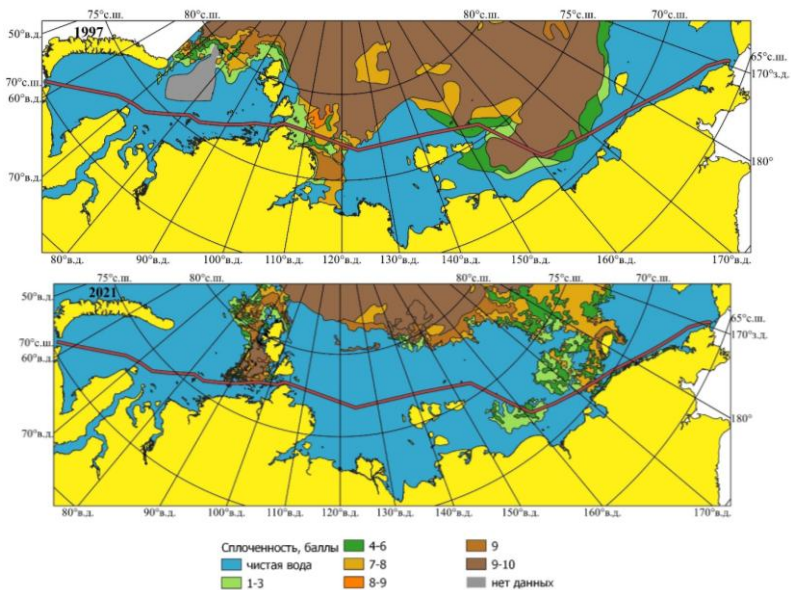


Рис. 1. Трасса СМП и ледовая обстановка в первую декаду сентября в 1997 и 2021 гг.

В таблице 1 приводятся значения в процентах доли суммарной площади участков буферной зоны трассы СМП, занятой чистой водой, т.е. акваториями с полным отсутствием льдов, от общей площади буферной зоны, а также аналогичной доли площади суммы участков чистой воды и участков с присутствием льдов общей сплоченностью не более 3 баллов, т.е. редких льдов, оказывающих незначительное влияние на скорость движения судов, в сентябре 1997-2021 гг. В этой таблице символ «0» означает чистую воду, а «0-3» – сумму участков чистой воды и участков редких льдов. Очевидно существенное увеличение значений этих параметров, начиная с 2003-2005 гг. Для выявления возможного времени кардинального изменения ледовых условий на трассе СМП был применён метод

интегральных кривых. Он заключается в построении графика, на котором по оси X откладываются отметки лет, а по оси Y – накопленные суммы исследуемых значений числового ряда. Это означает, что для первого года ряда берётся само значение параметра, для второго года и последующих лет – суммы значений параметра за все годы ряда от первого до данного года. Точки на графике соединяются линией. Если на графике присутствует изгиб или излом линии, то это является признаком значительного изменения значения параметра в годы, соответствующие месту изгиба на графике.

Таблица 1. Доли площадей участков чистой воды, и суммы участков чистой воды и редких льдов в пределах буферной зоны трассы СМП от её общей площади, в сентябре 1997-2021 гг., в процентах

Годы	1-я декада сентября		2-я декада сентября		3-я декада сентября	
	«0»	«0-3»	«0»	«0-3»	«0»	«0-3»
1997	68.4	76.0	65.5	68.2	60.9	61.3
1998	40.8	43.6	35.3	41.4	26.4	32.1
1999	71.3	86.6	80.2	89.3	58.2	58.2
2000	74.8	86.9	69.7	85.4	75.1	75.1
2001	44.4	56.2	45.2	56.9	32.8	35.5
2002	97.4	98.3	99.1	99.1	83.2	83.2

2003	71.6	84.0	77.2	89.9	80.2	83.3
2005	97.0	97.1	97.7	98,0	98.3	98.3
2006	88.0	89.1	87.9	87.9	86.6	86.6
2007	86.8	86.8	89.2	89.2	93.4	93.4
2008	93.7	97.9	97.9	97.9	95,0	95.1
2009	88.9	88.9	95.9	95.9	95.4	95.4
2010	90.7	90.7	97.6	97.6	94.6	94.6
2011	90.0	96.6	94.0	95.1	95.1	95.1
2012	94.4	97.9	98,0	99.9	95.1	98.3
2013	85.7	90.9	90.4	93.9	83.6	83.6
2014	88.0	91.4	98.4	99.0	98.3	98.3
2015	96.8	98.1	99.5	99.9	99.7	99.7
2016	97.5	97.8	96.8	98,0	99.9	99.9
2017	95.9	96.4	99.5	99.9	99.9	99.9
2018	84.5	88.3	85.9	87.5	85.6	88.4
2019	99.7	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
2020	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
2021	87.8	92.8	93.4	96.7	92.3	94.8

Графики интегральных кривых были построены в среде Mathcad с помощью специально разработанной компьютерной программы. На рисунке 2 приведён пример такого графика: интегральная кривая доли чистой воды в первую декаду сентября. На графике видно крайне незначительное изменение направления линии после 2005 года. Однако линия по форме очень близка к прямой. Поэтому при проверке на однородность числовых рядов долей площадей чистой воды, и чистой воды и редких льдов в общей площади буферной зоны трассы СМП эти ряды делились пополам, по 12 элементов в каждой части, на периоды 1997-2009 гг., и 2010-2021 гг. Эта проверка выполнена с помощью непараметрических критериев однородности Уилкоксона-Манна-Уитни и Зигеля-Тьюки, реализованных в виде компьютерных программ Mathcad. Применение критерия Уилкоксона-Манна-Уитни показало опровержение во всех 6 случаях нулевой гипотезы о принадлежности обеих частей числовых рядов к одной генеральной совокупности. Критерий Зигеля-Тьюки, наоборот, показал во всех 6 случаях однородность числовых рядов с вероятностью верности 96%.

Выводы

Критерий Уилкоксона-Манна-Уитни анализирует различие математических ожиданий двух выборок, а критерий Зигеля-Тьюки наиболее чувствителен к разнице их дисперсий. Поэтому результаты проверки указывают на существенное изменение ледовых условий плавания по трассе СМП в сентябре за период 1997-2021 гг. в сторону их улучшения, при этом величина межгодовой изменчивости параметров практически не изменилась.

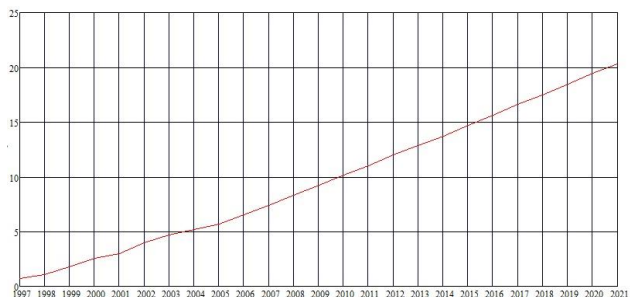


Рис. 2. Интегральная кривая доли чистой воды в буферной зоне трассы СМП в 1-ю декаду сентября за 1997-2021 гг.

Благодарности

Работа выполнена в рамках грантов РФФИ, номера проектов 19-05-00683а и 18-05-60291 Арктика, а также Проекта Росгидромета 5.1.2 «Развитие существующих, и разработка новых методов и технологий долгосрочного (месячного и сезонного) прогнозирования элементов ледово-гидрологического режима арктических морей, низовьев и устьевых областей рек в условиях климатических изменений».

Литература

1. «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»: Указ Президента Российской Федерации № 204 от 7.05.2018.
2. Бабич С.В., Яковлева А.А. Транспортно-логистический потенциал северного морского пути в евроазиатском экономическом пространстве // Российская Арктика, 2019, № 4. С. 5-14.
3. Ашик И.М. Утверждена Стратегия развития Арктической зоны России и обеспечения национальной безопасности до 2035 года // Российские полярные исследования, 2020, № 4. С. 4.

4. Г.В. Алексеев, Е.И. Александров, Н.Е. Иванов. Особенности климата Арктики в 2020 году // Российские полярные исследования, 2021, № 1. С. 11-14.
5. Егоров А.Г. Изменение возрастного состава и толщины зимнего ледяного покрова арктических морей России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2020, Т. 66, № 2. С. 124–143.
6. Егорова Е.С., Алексеева Т.А., Сероветников С.С., Соколов В.Т. Специальные ледовые наблюдения на борту атомного ледокола «50 лет Победы» во время экспедиций к Северному полюсу в 2021 году // Российские полярные исследования, 2021, № 3. С. 18-20.
7. Егоров А.Г., Павлова Е.А. Изменение сроков устойчивого ледообразования в восточных арктических морях России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2019, Т. 65 (№ 4). С. 389-404. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-4-389-404>
8. Сочнев О.Я., Корнишин К.А., Ефимов Я.О., Миронов Е.У., Порубаев В.С. Межгодовая изменчивость продолжительности безледного периода в юго-западной части Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики, 2019, Т. 65 (№ 3). С. 239-254. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2019-65-3-239-254>
9. Егоров А.Г. Пространственное положение кромки льдов в августе – сентябре в восточных морях России в начале XXI в. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2020, Т. 66 (№ 1). С. 38–55. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-1-38-55>.

ОЦЕНКА ВОДОСБОРОВ РЕК БАССЕЙНОВ КАРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ МОРЕЙ С УЧЁТОМ БАЗИСА ЭРОЗИИ.

Трунин А.А.¹, Терехова Р.А.¹.

1-Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия.

Развитие ГИС технологий позволяет осуществить перевод гидрологических данных в современные форматы хранения и обработки информации. Рассчитаны водосборные площади больших рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. В основу анализа положено сравнение значений высоты уровня воды.

KARA AND LAPTEV SEAS DRAINAGE BASINS EVALUATION WITH REGARD FOR EROSION BASE LEVEL.

Trunin A.A.¹, Terechova R. A.¹

1-Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Current GIS technologies growth supports the digital transformation of hydrological data processing-and-memory. Drainage basins of the great rivers flowing into the Arctic Ocean are estimated. The analysis is based on the comparison of water level values.

Введение.

Сотрудниками ААНИИ проведена работа по созданию контуров водосборов больших рек и их притоков в границах Арктической зоны Российской Федерации. Рассчитаны гидрологические характеристики для 314 рек и выявлены расхождения с опубликованными ранее данными. Предоставлена модель водосборов больших рек, позволяющая уточнить модуль стока бассейнов морей Карского и Лаптевых с учётом их базиса эрозии.

Научная составляющая.

В ААНИИ используется современная модель хранения и обработки данных. Геоинформационные данные (точки, линии, полигоны) и их атрибуты (значения длины водотоков, площади водосбора и т. д.) консолидированы в PostgreSQL на основе использования расширения PostGis. В качестве ГИС приложения используется платформа QGIS version 3.14. Используются картографические основы, зарегистрированные в Росреестре. Методика построения контуров водосборов основана на максимальном использовании информации о значениях высот, горизонталей, контуров озёр и речной сети.

При анализе гидрологических данных на разных участках рек Енисей, Анабар, Оленек и Лена выявились значительные расхождения с опубликованными сведениями о водосборной площади рек, стоке воды и взвешенных наносах. Экспертиза изданий Водного кадастра РФ подтверждает эти расхождения.

Проникновение интрузий вод в соседние водосборные области возможно при осложнении формирования речной сети тектоническими процессами. Для выяснения проблемных зон были построены контуры водосборов на основе значений «урезов воды» и линияметов (линий речной сети) речной сети. Полученные данные в местах тектонических процессов значительно меняют контуры водосборов рек. Значения «урезов воды» можно принять за псевдо-локальный базис эрозии, позволяющий судить о действительной поверхности нулевого выноса материала, которые служат для построения альтернативных водосборных областей. На основе значений точек «урезов воды» больших рек и их притоков и их линияметов построена альтернативная модель водосборов, которая позволяет уточнить расхождения в значениях речного стока.

Выводы.

Альтернативный подход расчёта позволяет определить проблемные участки водосборной площади рек бассейна моря, где возможны интрузии вод в смежные области.

Количество и качество продольных профилей рек «урезов воды» необходимо существенно увеличить, что позволит повысить качество построения псевдо-локальной поверхности базиса эрозии и уточнить действительную водосборную область водотоков.

Литература.

Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки. // Эрозия почв и русловые процессы. Вып. 14. М., 2004. С.7–32

Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Т.1 Кольский полуостров, Т.3 Северный край, Т.15 Алтай и Западная Сибирь, Т.16 Вып.1 Енисей, Т.17 Лено-Индигирский район, Т.19 Северо-Восток. – Л.: Гидрометеиздат. 1963 – 1967

Калинин В.Г., Пьянков С.В. Использование гидрографических характеристик рек и их бассейнов в гидрологических расчетах // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 11. – С.75–80.

Калинин В.Г., Пьянков С.В. Гидрологическая информационная система «Бассейн Воткинского водохранилища» // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 5. – С.95–100

Орлова Е.В. Определение географических и гидрологических характеристик бассейна Печоры с использованием ГИС-технологии // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 4. – С.81–88

Измайлова А. В., Ульянова Т. Ю. Информационная система Озера России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2014. – № 6. – С.21–28.

Приказ МПР РФ от 25.04.2007 № 112 «Об утверждении Методики гидрографического районирования территории Российской Федерации». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_68601/ (дата обращения: 14.09.2021).

Мотовилов Ю.Г., Омеляненко В.А. Гидрографическое районирование территории Российской Федерации // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2009. – № 2. – С.77–81.

СТО ГТИ 52.08.40-2017. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам – СПб.: ООО "РПЦ Офорт", 2017. – 148 с.

Р 52.08.874-2018 Определение гидрографических характеристик картографическим способом СПб.: 2018. – 172 с.

Цифровые географические основы. URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru> (дата обращения: 09.10.2019).

Сравнение методов интерполяции. ESRI. URL:<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/an-overview-of-the-spatial-analyst-toolbox.htm> (дата обращения: 09.10.2021)

Jenson S., Domingue J. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1988. – 54. – P. 1593–1600.

Hutchinson M. F., Gallant J. C. Digital Elevation Models and Representation of Terrain Shape.// Terrain Analysis: Principles and Applications /Eds. J. P. Wilson, J. C. Gallant. – N. Y.: John Wiley & Sons, 2000. – P. 29–50

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОВИХРЕЙ НАД АКВАТОРИЕЙ КАРСКОГО МОРЯ

Н.В. Федосеева¹, В.О. Лопуха²

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия, fednat@mail.ru

² Российский государственный гидрометеорологический университет

На основании анализа данных ежедневной спутниковой съёмки был сформирован архив случаев формирования полярных мезовихрей над акватории Карского моря за период с 2015 по 2020 гг., проанализирована их эволюция и построены траектории их перемещения.

SATELLITE IMAGERY APPLIED TO ANALYSIS OF THE POLAR MESOSCALE STORMS OVER THE KARA SEA

N.V. Fedoseeva¹, V.O. Lopukha²

¹ Russian state hydrometeorological university

² Russian state hydrometeorological university

Based on the analysis of daily satellite imagery, an archive of the polar low's formation cases over the Kara Sea waters since

2015 to 2020 was formed, their evolution was analyzed and the storm tracks were constructed.

Введение

Наиболее часто полярные мезовихри формируются в акватории Северо-Европейского бассейна Северного полушария. Основной причиной этого являются благоприятные условия для их образования ввиду большой разницы температур в приводном слое, усиленной атлантическим течением на севере и массивом дрейфовых льдов. Менее изучены полярные циклоны в восточной части российской Арктики. Так, например, полярные мезоциклоны над Карским морем были впервые обнаружены сравнительно недавно [1]. Низкое, на тот момент, качество спутниковых изображений облачности и частые пропуски наблюдений в этом регионе затрудняли возможность отслеживания всех полярных мезовихрей и получения статистических характеристик, в связи с чем особенности процессов циклогенеза полярных мезовихрей была ограничена только анализом отдельных случаев их образования [2].

Карское море - одно из самых холодных морей России, только близ устьев рек температура воды летом выше 0 °С [3]. Гидрометеорологические условия Карского моря в холодный период года, в целом, менее благоприятны для формирования полярных мезовихрей, в связи со значительно ослаблением влияния теплых атлантических вод по сравнению со смежным Баренцевым морем. С ноября по апрель Карское море почти полностью покрыто дрейфующими

льдами, что ограничивает в это время возможность образование полярных мезовихрей [4].

Мезомасштабные полярные циклоны характеризуются коротким сроком жизни, составляющим, в среднем, от нескольких часов до 3 суток и малыми размерами, что затрудняет их обнаружение в поле давления.

Из-за малых размеров и короткого времени существования такие мезомасштабные возмущения не имеют экстремальных высот. Из-за перемещения холодного воздуха на относительно теплую подстилающую поверхность нижние слои полярных циклонов характеризуются неустойчивой термической стратификацией [5,6].

Методика исследования

В ходе выполнения данной работы была исследована ежедневная активность полярных мезовихрей в акватории Карского моря за 2015-2020 гг. В качестве исходных данных были использованы спутниковые снимки первого уровня обработки, полученные сканирующим радиометром MODIS, установленном на борту спутников Aqua и Terra. Использование мультиплатформенных и мультиспектральных данных позволило значительно повысить периодичность наблюдений [7], в том числе, включая период недостаточного солнечного освещения, и зафиксировать даже короткоживущие вихри, с временем жизни, не превышающим 12 часов что, в свою очередь, позволило выполнить комплексное исследование ак-

тивности полярных мезовихрей в этом малоизученном регионе.

Результаты исследований

Оказалось, что частота формирования полярных мезовихрей в Карском море значительно выше, чем предполагалось ранее, хотя их интенсивность, в целом, ниже, чем в более благоприятной для их формирования акватории Баренцева моря (Таблица 1).

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Всего
Январь	4	3	6	3	3	7	26
Февраль	3	4	5	4	4	8	28
Март	5	4	7	4	5	5	30
Апрель	4	5	7	5	4	2	27
Май	4	5	0	3	3	3	18
Июнь	4	6	4	5	3	4	26

Июль	4	4	3	4	2	4	21
Август	3	5	5	4	2	4	23
Сентябрь	5	3	3	3	3	5	22
Октябрь	4	2	4	4	2	4	20
Ноябрь	5	7	4	3	7	5	31
Декабрь	3	6	5	3	9	6	32
Всего	48	54	53	45	47	57	304

Таблица 1. Повторяемость формирования полярных мезовихрей в Карском море.

Всего в Карском море за анализируемый период сформировалось 304 полярных вихря, при этом, ежегодно их количество варьировалось от 45 в 2018 году до 57 в 2020 году. Максимальное количество циклонов формировалось в декабре, ноябре и марте, а минимальное – в мае и октябре.

Анализ диаграммы ежемесячной повторяемости мезовихрей (Рис. 1) показал, что в январе их максимальное количество (7) наблюдалось в 2020 г., минимальное (3) в 2016,

2018 и 2019 гг., в феврале, соответственно, в 2020 г. максимальное (8) – в 2020 г., а минимальное (3) – в 2015 г., в марте максимальное количество (7) – в 2017 г., минимальное (2) – в 2020 г., в апреле максимальное количество (7) в 2020 г., минимальное (2) – 2020 г., в мае максимальное количество (5) – в 2016 г., минимальное (0) – в 2017 г., в июне максимальное количество (6) – в 2016, а минимальное (3) – в 2019 г., в июле одинаковое количество (4) полярных мезовихрей наблюдалось в 2015, 2016, 2018 и 2020 гг., а минимальное (2) – в 2019 г., в августе максимальное количество вихрей (5) формировалось в 2016 и 2017 гг., а минимальное (2) - в 2019 г., в сентябре за исключением начала и конца исследуемого периода, когда наблюдалось по 5 образований, в остальные годы формировалось по 3 мезовихря ежегодно, в октябре их количество варьировалось от 2 в 2016 и 2019 гг., до 4 в остальные годы, в ноябре их максимальное количество достигало 7 в 2016 и 2019 гг., а минимальное (3) наблюдалось в 2018 г., в декабре их максимальное количество (9) наблюдалось в 2019 г., а минимальное (3) в 2015 и 2018 гг. В общем, в исследуемый период не отмечается заметной тенденции к увеличению числа полярных мезовихрей как в отдельные месяцы, так и в целом за год.

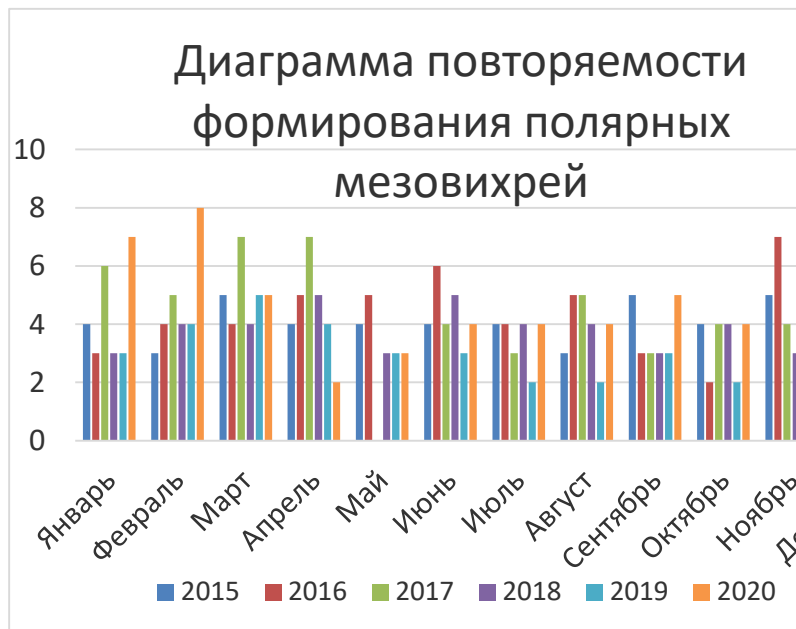


Рисунок 1 - Повторяемость формирования полярных мезовихрей за 2015-2020 гг.

В данной работе также были построены траектории перемещения полярных мезоциклонов за 2020 г. (Рис.2).

Анализ полученных результатов показал, что в этот период большая часть мезовихрей формировалась в южной части акватории Карского моря и оставались стационарны, причем, независимо от сезона. Только 5 образований из 57

имели заметное смещение. Следует отметить, что в зимний период, с ноября по март, над южной частью Карского моря простирается ложбина пониженного давления (восточная ложбина исландского минимума), ориентированная с юго-запада на северо-восток, в то время как над северо-восточной частью азиатского материка располагается устойчивая область повышенного давления (сибирский антициклон). С этой ложбиной, в основном, связаны основные траектории циклонов, проходящих над акваторией Карского моря [3].

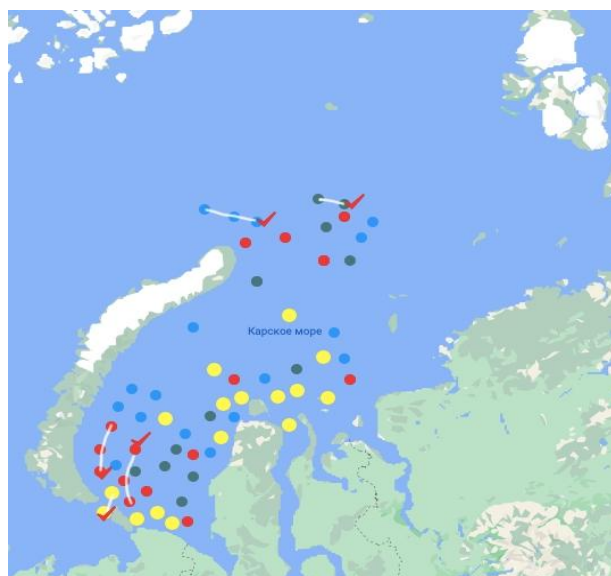


Рисунок 2 – Траектории полярных мезовихрей (синий – зимний период, зеленый – весенний период, красный – летний период, желтый – осенний период)

Выводы

Выполненные исследования продемонстрировали, что несмотря на широкое распространение ледового покрова в акватории Карского моря, в этом регионе ежегодно формируется большое количество полярных мезовихрей в любое время года, при этом, максимальное их количество наблюдается в холодный период, что ранее представлялось невозможным. Большая часть вихрей в 2020 г. возникла в южной части акватории и оставалась неподвижной.

Список литературы

1. *Луценко Э. И., Лагун В. Е.* ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург//Проблемы Арктики и Антарктики //Полярные мезомасштабные циклонические вихри в атмосфере Арктики. Справочное пособие//2010 – 97 с.
2. *Э. И. Луценко, В.Е.* Полярные мезомасштабные циклоны в атмосфере над Баренцевым и Карским морями. Лагун - ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург//Проблемы Арктики и Антарктики 2013 г., № 2 (96). с. 76-89
3. ЭРСР по гидрометеорологическому режиму Карского моря –http://nodc.meteo.ru/ERSP/atlaskarsk/opis_reg.html
4. *Rasmussen, Erik A., and John Turner:* Polar Lows: Mesoscale Weather Systems in the Polar Regions, Cambridge University Press, 2003. 412 p
5. *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

6. 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.

7. Лопуха В.О., Федосеева Н.В. Анализ облачности мезомасштабных вихрей по мультиспектральным спутниковым данным. Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. №662. с. 172-175

КЛИМАТ КАМБОДЖИ И ЕГО ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

С. Чеа¹, В.А. Кошевой², канд. г-ф. наук.

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

²Московский педагогический государственный университет, г. Москва, Россия

В работе рассматривается климат Камбоджи и его влияние на почвенно-растительный покров и внутренние воды. Также показано, что основное влияние на климат Камбоджи оказывает муссонная циркуляция.

CLIMATE OF CAMBODIA AND ITS PHYSICAL AND GEOGRAPHICAL CONSEQUENCES

S. Chea¹, V.A. Koshevoy², Cand. Mr. Sciences.

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia

The paper examines the climate of Cambodia and its impact on land cover and inland waters. It is also shown that the main influence on the climate of Cambodia has a monsoon circulation.

Введение

Научное изучение климата Камбоджи началось с середины XIX века. Актуальность рассматриваемой темы заключа-

ется в том, что в Камбодже к изучению климата подходили и подходят сугубо с позиций метеорологии, без выявления и объяснения долгосрочной взаимосвязи и взаимообусловленности отдельных элементов, характеризующих нижние слои тропосферы. В тоже время, основу экономики Камбоджи составляют растениеводство и лесное хозяйство, напрямую зависящие от климатических условий.

Изучение климата в России опирается, прежде всего, на причинно-следственные связи между элементами климата и компонентами природы, поэтому к климату подходят комплексно. Тогда как климат Камбоджи изучался покомпонентно. Поэтому целью нашей работы было составление комплексной характеристики климата рассматриваемой территории, а также раскрытие его влияния на отдельные компоненты природы – растительность, почвы и воды.

Методы исследования

На основе собранного литературного и картографического материала о рассматриваемой территории была составлена комплексная климатическая характеристика рассматриваемой территории и карта климатического районирования, в основу которой были положены теоретические подходы климатического районирования Л.С. Берга и Б.П. Алисова [1].

По результатам работы были построены картосхемы в среде ArcGIS: Климатическое районирование Камбоджи, Растительный покров Камбоджи, Почвенный покров Камбоджи, Гидрографическая сеть Камбоджи для сухого и влажного сезонов.

Комплексная характеристика климата Камбоджи

Изучение климата Камбоджи началось с середины XIX века и носило прикладной характер с акцентом на военную и медицинскую климатологию. В конце 90-х годов, когда был геноцид кхмерского народа, осуществлённый режимом Пол Пота, метеорологическая служба страны понесла тяжелый урон. В настоящее время наблюдения ведутся с помощью современного метеорологического оборудования по всей территории страны [2].

В настоящее время в Камбодже практически нет научных работ о климате и его влиянии на другие компоненты природы. Прежде всего, это касается климатического районирования.

В нашей работе были рассмотрены основные климатообразующие факторы Камбоджи – радиационный, циркуляционный и свойства подстилающей поверхности.

Одним из основных является радиационный фактор.

Камбоджа находится в низких широтах. В разные сезоны года территория получает разное количество солнечной радиации, её среднегодовые значения на севере страны (6667 МДж/м²) меньше, чем на юге (7500 МДж/м²) [3].

В горах и плато, а также у побережья Сиамского залива наблюдается самая низкая величина солнечной радиации за счёт большой облачности весь год. И, наоборот, для равнин –

величина солнечной радиации в центральной равнине гораздо больше.

Другим важным климатообразующим фактором является циркуляционный.

С мая по октябрь господствует летний муссон, преобладают юго-западные ветры.

С ноября по апрель – зимний муссон, преобладают ветры северо-восточных направлений.

Таким образом, для территории Камбоджи характерна общая муссонная циркуляция воздушных масс, осложненная системой местных ветров в горах Кардамон и вблизи озера Тонсесап.

Также на климат влияют свойства подстилающей поверхности. Например, растительность, водные объекты, цвет поверхности, рельеф.

На юго-западе Камбоджи находятся горы, а на крайнем северо-востоке и юго-востоке – плато.

Леса имеются только на крайнем юго-западе, где расположены горы Кардамон, а также на крайнем северо-востоке. Большая часть территории занята сельскохозяйственными угодьями: полями риса и овощей.

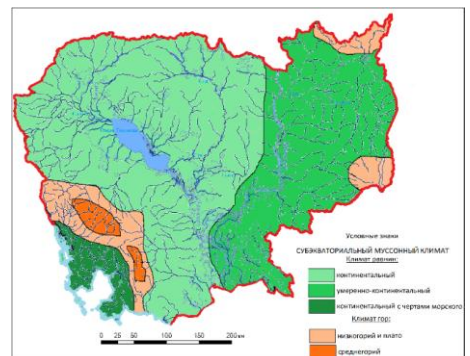
Кроме того, нами были рассмотрены основные климатические показатели: температура воздуха и атмосферные осадки.

Самая высокая температура наблюдается в центральной части Камбоджи в марте, апреле и мае. Она составляет 32–35°C, а иногда достигает тридцати восьми. Это связано с большой величиной солнечной радиации (более 6900 МДж/м²) [3]. Минимальные значения температуры характерны для верхних частей гор, где величина солнечной радиации гораздо меньше (не более 6400 МДж/м²) [3]. Во все сезоны года там температура составляет 20-23 °С.

Наибольшее количество атмосферных осадков – более 3000 мм выпадает на юго-западе страны на наветренных склонах гор Кардамон в прибрежных районах. Благодаря летнему муссону летом выпадает в два раза больше осадков, чем зимой (зимний муссон). Область с наименьшим количеством осадков простирается с северо-запада на юго-восток, вокруг озера Тонлесап (менее 2000 мм) [4].

По классификации Алисова, территория Камбоджи находится в субэкваториальном поясе. С преобладанием тропических воздушных масс во время сухого сезона и экваториальных воздушных масс во время дождливого сезона. То есть в области муссонного климата.

На наш взгляд, здесь можно выделить 5 климатических районов субэкваториального муссонного климата: континентальный, умерено-континентальный и климат с чертами морского (рис. 1). В горах и на плато нами выделен субэкваториальный муссонный климат низкогорий и среднегорий. Хотя



отдельно просматриваются различия наветренных и подветренных склонов.

Рис. 1. Климатическое районирование Камбоджи. [5].

Влияние климата на компоненты природы Камбоджи

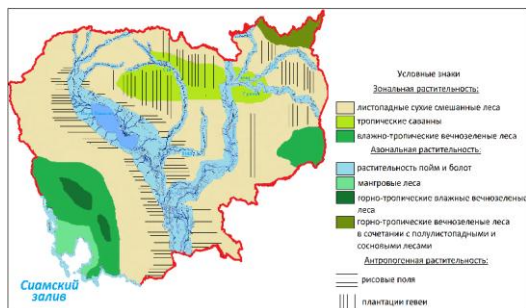
Далее нами рассмотрена связь между климатом и тремя компонентами природы: растительность (рис. 2), почвы (рис. 3) и водные объекты (рис. 4 и 5).

На центральной не распаханной части территории Камбоджи, где мало осадков распространены листопадные смешенные леса и саванны.

Там, где осадков много и коэффициент увлажнения больше 1,5 распространены мангровые леса и горно-тропические влажные вечнозеленые леса.

В местах с избыточным увлажнением по берегам рек и озер, распространена преимущественно луговая и болотная растительность.

Следует заметить, что естественная растительность сильно изменена деятельностью человека. Во влажном и теплом климате хорошо произрастает гевея (производят каучук), вокруг озера Тонлесап распространена ценная зерновая культу-

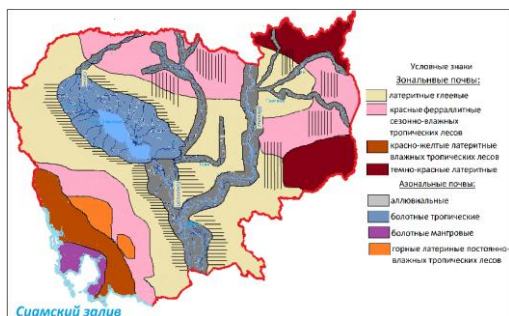


ра – рис.

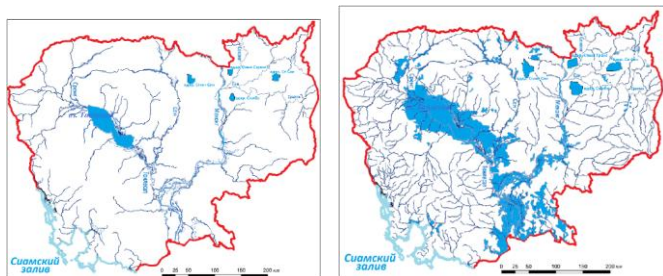
Рис. 2. Растительность Камбоджи. [5].

Рисунок 3. Почвы Камбоджи [5].

На равнинах, где выпадает меньше осадков, распространены латеритные глеевые почвы и красные ферраллитные. В зонах избыточного увлажнения – горные латеритные почвы, темно-красные латеритные почвы. В поймах рек и озер – аллювиальные, болотные почвы. На юго-западе – болотные засоленные почвы мангров.



соленные почвы мангров.



А)

Б)

Рис. 4. Гидрографическая сеть Камбоджи: А) в сухой сезон, Б) в сезон дождей [5].

В Камбодже климат сильно влияет на внутренние воды за счёт разного количества выпадающих атмосферных осадков в разные сезоны года (рис. 4). Основные источники питания рек – дождевое в сочетании с подземным питанием.

В сухой сезон, площадь озера Тонлесап не велико (3000 км²) [6] и уменьшается количество притоков таких рек как Меконг, озеро Тонлесап, Сен. В дождливый сезон картина резко меняется площадь озера Тонлесап (в 5 раз) (15000 км²) [6], а число мелких рек, впадающих в крупные реки возрастает 2-3 раза. В сезон дождей объём стока реки Меконг 20 раз превышает сток в сухой период. Река Тонлесап – меняет направление течения дважды в год.

Выводы (Заключение)

1. Территория Камбоджи находится в субэкваториальном муссонном климате с жарким и сезонно-влажным климатом. Выделяется два основных сезона года: дождливый сезон с мая по октябрь и сухой сезон – с ноября по апрель. Это связано с приходом в летние месяцы экваториальных воздушных масс и с тем, что зимний северо-восточный муссон приносит континентальные тропические воздушные массы.

2. В субэкваториальном муссонном климате выделены два типа регионов, присущих равнинам и горам. Климат рав-

нин подразделён на континентальный, умеренно-континентальный и континентальный с чертами морского. А для гор – на субэкваториальный муссонный климат среднегорий, низкогорий и плато.

3. Для равнинной части территории Камбоджи характерны разновидности континентального субэкваториального муссонного климата с двумя чётко выраженными сезонами – сухим и дождливым, и довольно высокими температурами круглый год. Для горных разновидностей субэкваториального муссонного климата типична малая амплитуда годовых температур, повышенная облачность и большое количество атмосферных осадков, значение которых увеличивается по мере увеличения абсолютной высоты места. В связи с этим коэффициент увлажнения здесь также изменяется с высотой от 1,2 в нижних частях гор – до 2,5 в привершинных частях. [5].

4. Выявлены взаимосвязи между спецификой климата и характером почвенно-растительного покрова, а также воздействие климата на изменение обводнённости территории Камбоджи в зависимости от разных сезонов, обусловленных муссонной циркуляцией. Формирование почвенно-растительного покрова Камбоджи определяется соотношением тепла и влаги, как на равнинах, так и в горах. Доминирующим типом естественной растительности здесь являются тропические вечнозеленые и тропические листопадные леса с фрагментами тропических саванн на латеритных почвах.

Литература

1. Хром С.М., Петросянц М.А. *Метеорология и Климатология: учебник 4-е изд.: перераб. И доп.* – М.: Изд-во МГУ, 1994 г. – стр. 520.: ил.
2. *Географические отчеты токийского столичного университета 54 (2019 г.) 'краткая история метеорологических наблюдений во французском Индокитае'* Нобухико Эндо¹ и Дзюн Мацумото.
3. *Average global horizontal radiation per year in Cambodia, obtained from GHI GIS data purchased from Geomodel, 2013.*
4. Джотиганеш Шанмугасундарам, Юварадж Эсваран, Итеш Даи, *Предлагаемая климатическая зона для Камбоджи: укрепление систем климатической информации и раннего предупреждения в Камбодже. Август 2020 г.*
5. Чаа С., Кошевой В.А., *Климат Камбоджи и его физико-географические следствия*, МПГУ, Москва, 2021 г.
6. *Cambodia Country Report on Agriculture, Water Management and Food Security, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Cambodia, 2013.*

¹ Институт агроэкологических наук, Национальная организация сельскохозяйственных и продовольственных исследований.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ
ЯПОНСКОГО МОРЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ
БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

С.А. Черкашин¹, С.А. Даниленко¹, Т.С. Пряжевская²

¹Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток, Россия

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

В работе приведена оценка качества вод залива Петра Великого на разных уровнях биологической организации. Выявлено улучшение состояния отдельных внутренних участков залива по сравнению с ситуацией до 2009 г.

ASSESSMENT OF WATERS QUALITY IN THE
COASTAL ZONE OF THE JAPAN SEA AT VARIOUS
LEVELS OF BIOLOGICAL ORGANIZATION

S.A. Cherkashin¹, S.A. Danilenko¹, T.S. Pryazhevskaya²

¹Pacific branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok, Russia

²Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

An assessment of waters quality in the coastal zone of the Peter the Great Bay at various levels of biological organization is presented. The improvement of the condition of some internal parts of the bay in comparison with the situation before 2009 was revealed.

Введение

С ростом урбанизации побережья происходит усиление антропогенного пресса на прибрежные экосистемы, причем одно из ведущих мест в нем занимает загрязнение морской среды. Отрицательные последствия загрязнения проявляются на различных уровнях организации живой материи - от молекулярно-биохимического до биоценотического и экосистемного. Оценка качества вод предполагает изучение комплекса подобных изменений и часто опирается на результаты биоиндикации и биотестирования. Эти методы используют для выявления негативного воздействия на биосистемы физических, химических, биологических факторов или их сочетания. Для биодиагностики качества среды обитания предпочитают компоненты биоты, достаточно чувствительные к ее изменениям.

В наибольшей степени загрязнение влияет на планктонные и бентосные организмы, особенно в прибрежных акваториях, в которые попадает максимальное количество поллютантов. Среди акваторий Японского моря к наиболее загрязненным относится залив Петра Великого. По данным последних лет, наиболее загрязненными его акваториями являются западная часть Уссурийского залива, внутренние районы Амурского залива, его восточная часть и бухта Золотой Рог [1]. Выявлено негативное влияние загрязненных вод отдельных, обычно внутренних, акваторий зал. Петра Великого на состояние некоторых планктонных и бентосных сообществ [2-7].

Цель настоящей работы заключается в обобщении результатов многолетних исследований состояния отдельных

компонентов прибрежных акваторий Амурского и Уссурийского заливов и оценке тенденций его изменения.

Оценка качества вод на популяционно-биоценотическом уровне

К самым важным и очевидным негативным биоценотическим эффектам воздействия загрязнения относится снижение видового разнообразия гидробионтов. Многолетние комплексные исследования прибрежных акваторий Приморья, включающие наблюдения за состоянием морской среды и изменением параметров биоты, выявили эффективность биоиндикации последствий загрязнения по видовому составу и структуре популяций планктонных, эпибентосных и нектобентосных ракообразных - мизид [2-4]. В условно-фоновых внешних районах заливов на глубинах до 1,5 м обнаружены рачки 9 видов, относящиеся к 5 родам. Представителей родов *Acanthomysis* и *Paracanthomysis* отлавливали преимущественно в менее загрязненных районах зал. Петра Великого. В более загрязненных внутренних районах обнаружены 1-2 вида рода *Neomysis*. Под влиянием токсических веществ биоценозы меняются, переходя от сложного распределения узкоспециализированных видов к преобладанию некоторых видов с широкой специализацией. В большинстве районов заливов помимо широко распространенной и массовой в прибрежной зоне дальневосточных морей России эврибионтной *Neomysis mirabilis*, многочислен стеногалинный вид мизид, требовательный к чистоте вод – *Paracanthomysis shikhotaniensis*. Начиная с апреля до ноября включительно, рачки этого вида встречались почти во всех мелководных акваториях южного Приморья, за исключением наиболее оп-

ресненных и загрязненных. В загрязненных районах обычна *N. awatschensis*, численное преобладание которой свидетельствует о нарушении биоценозов.

Биоиндикация выявила, что деградация биоценозов мизид под влиянием поллютантов протекает в пять стадий и может рассматриваться как показатель состояния вод и самих рачков. Пятая градация – полное отсутствие мизид, свидетельствует о катастрофическом состоянии компонентов экосистемы. Такая ситуация обычна для акваторий вблизи крупных населенных пунктов (например, у нефтебазы, расположенной вблизи устья Первой Речки в черте г. Владивостока, у пос. Славянка и др.). Однако с уменьшением загрязнения районов, где мизиды исчезли, они появляются здесь вновь через несколько месяцев или лет [2]. Наиболее показательным параметром для оценки экотоксикологического состояния акваторий с использованием мизид является структура популяций видов-индикаторов, выделенных ранее, прежде всего относительное обилие группировок мизид *P. shikhotaniensis*, поскольку они отлавливаются на мелководье с апреля по ноябрь и обладают пониженной устойчивостью ко многим токсикантам [8, 9]. В загрязненных районах Амурского залива у г. Владивосток этот вид исчез в 1984 г. и не был обнаружен до 2004 г. [7]. Начиная с середины 2000-х гг., ситуация здесь стабилизировалась, о чем говорит сходное относительное обилие вида в 2004-2008 гг. и в 2019 г. Чувствительным показателем состояния видов является размерно-половая структура популяций, которая изменяется при минимальных воздействиях. Так, наиболее очевидным проявлением влияния загрязнения на эврибионтную *N. mirabilis* оказался опережающий нерест ее перезимовавших особей, который практически завершился в первой декаде июня на всех исследованных станциях Амурского залива, кроме акватории у о. Рейнке, расположенного на выходе из залива. Однако здесь обнаружены единичные экземпляры молоди длиной 9,5-10,5 мм в

середине мая 1985 г. и молодь длиной 8,7–10,5 мм в мае 2016 и 2017 гг. [10]. Во внутренних районах залива уже в конце апреля длина молоди первой весенней генерации *N. mirabilis* достигала 11 мм, что свидетельствовало о ее ускоренном росте и развитии. Эти различия в основном обусловлены более высокой температурой вод кутового участка Амурского залива и эвтрофикацией под влиянием загрязненного стока крупной реки Раздольной. В то же время по размерно-половой структуре популяций *N. mirabilis* и другим параметрам удалось выявить протяженность акватории, на которой отмечалось эвтрофирующее воздействие загрязненных вод, выносимых из внутренних районов залива.

Оценка качества вод на организменном уровне

Обеднение видового разнообразия, изменение популяционной структуры видов в сообществах отражают далеко зашедшие и часто трудно обратимые нарушения структуры и функционирования биоценозов. Между тем, весьма актуально выявление ранних экологических последствий воздействия загрязнения среды на водные экосистемы, наступающих до регистрируемых негативных изменений состояния индикаторных видов. Значительно оперативнее качество вод можно оценить, используя чувствительные организмы. Биотестирование качества вод на организменном уровне в последние годы осуществляли преимущественно на двух видах мизид. В кратковременных опытах (обычно до 96 ч) удалось выявить негативное влияние загрязненных вод отдельных, как правило, внутренних, акваторий залива на выживаемость мизид. Максимальная гибель тест-организмов характерна именно в пробах из внутренних акваторий. Дополнительные физиологические нагрузки, такие как преждевременный не-

рест под влиянием загрязнения и резкое изменение температуры воды, значительно увеличивают смертность даже эврибионтных видов, например мизид *N. mirabilis*. Многолетнее биотестирование продемонстрировало токсичность исследованных проб из локальных участков внутренней акватории Амурского залива, прилегающей к центральной части г. Владивостока и подверженной интенсивному антропогенному загрязнению. Однако лишь в августе и сентябре 2003 и июле 2007 гг. показатели выживаемости мизид в водах этого района в целом были достоверно ниже, чем во внешней части залива. В 2009–2019 гг. экотоксикологическое состояние залива стало более удовлетворительным по сравнению с 2003–2008 гг., вероятно, из-за снижения загрязнения. За последние годы различие гибели мизид в пробах из поверхностного слоя вод внутренней и внешней акваторий Амурского залива в среднем не превышало 30%. Учитывая условия биотестирования и температурный режим, отсутствие достоверных различий смертности рачков в тестируемых пробах говорит о хорошем качестве вод в мае–июне и сентябре–октябре. Анализ совокупности результатов биотестирования выявил токсичность вод локальных участков акватории заливов, подверженных интенсивному антропогенному загрязнению в более теплый период. В тоже время показано отсутствие токсичности вод большинства исследованных акваторий залива для двух массовых видов мизид. Поскольку нами доказана повышенная уязвимость для поллютантов этих видов мизид по сравнению с большинством тест-организмов из дальневосточных морей России и с рачками *Artemia salina*, широко используемыми многими организациями, то в большинстве районов залива качество вод в настоящее время вполне благоприятно для обитания и других гидробионтов. Лучшие

экотоксикологические условия сохраняются в открытой части залива.

Оценка качества вод на молекулярном уровне

У долгоживущих организмов, например, двустворчатых моллюсков, изменения в структуре сообществ или на организменном уровне зарегистрировать значительно сложнее, для этого требуются многолетние наблюдения. В то же время моллюски широко используются для целей мониторинга, так как это в основном прикрепленные и малоподвижные виды, в течение жизни накапливающие в органах значительные количества загрязняющих веществ. Моллюски семейства *Myltilidae*, благодаря повсеместному распространению, прикрепленному образу жизни и доступности для отбора признаны показательным объектом для биомониторинга. В качестве индикаторного вида в этой работе использована мидия Грея *Crenomytilus grayanus*.

Действие неблагоприятных факторов различной природы, в том числе загрязняющих веществ, вызывает в клетках животных развитие неспецифической ответной реакции, связанной с биотрансформацией токсикантов и нейтрализацией свободных радикалов. Биохимические показатели, характеризующие эти процессы, отражают самые ранние нарушения в метаболизме животных, когда патологии на уровне организма и популяции еще не проявляются [11]. Поддержанием окислительного равновесия в клетках занимается антиоксидантная система, важными компонентами которой являются трипептид глутатион и система глутатион-зависимых фер-

ментов. В Амурском заливе наиболее высокая активность глутатион-S-трансферазы (GST) во всех органах отмечена у мидий, отобранных у мыса Песчаный во внутренней части залива - в среднем 25 нмоль/мин/мг белка в гепатопанкреасе, 21 - в гонадах и 17 - в жабрах. В органах мидий из акватории о. Рейнеке значения данного показателя были достоверно ниже. Мидии из б. Перевозная характеризовались промежуточным уровнем активности фермента. Акватория севернее мыса Песчаный находится под максимальным влиянием поллютантов из р. Раздольной. Это приводит к высокой степени эвтрофирования вод залива и загрязнению различными токсичными веществами. Выявлена положительная корреляция между активностью GST и концентрацией нефтяных углеводородов и хлорорганических пестицидов в донных отложениях из этих же районов [4].

Среди глутатион-зависимых ферментов большую роль играет также глутатион-редуктаза (ГР). У мидий из бухты Перевозная была отмечена наиболее высокая активность ГР во всех органах. В гонадах она составляла в среднем 65, в гепатопанкреасе – 56, а в жабрах – 16 нмоль НАДФН/мин/мг белка. У моллюсков из района мыса Песчаный активность ГР была значительно ниже, минимальная – у о. Рейнеке. Аналогичная тенденция наблюдалась и для содержания восстановленного глутатиона (GSH). В метаболических путях живых организмов ГР восстанавливает глутатион из окисленной формы (GSSG). Поэтому концентрация GSH, а также соотношение GSSG/GSH, связаны с активностью этого фермента. Для мидий из загрязненных местообитаний характерно высокое содержание GSH в жабрах и гепатопанкреасе на фоне повышенной ферментативной активности ГР. Глутатион, в

свою очередь, является субстратом для GST. Высокая активность GST постепенно приводит к истощению внутриклеточного пула глутатиона. У мидий из акватории мыса Песчаный при высокой активности GST отмечено пониженное содержание глутатиона. Это отражает активное протекание процессов биотрансформации в органах моллюсков. ГР, восстанавливая глутатион, участвует в защите организма от свободных радикалов. Продукция подобных радикалов, и, в первую очередь, активных форм кислорода, увеличивается при действии различных факторов, как антропогенных, так и природных, например, гипоксии. В период исследования содержание кислорода в придонном слое воды б. Перевозной составляло менее 70% насыщения. В метаболизме мидий это выражается в повышенной активности ГР.

Для Уссурийского залива показано, что у мидий из внутренних районов (б. Лазурная и Суходол) по сравнению с мидиями из акватории о. Рейнеке повышена активность GST как в гепатопанкреасе (в 3 и 2 раза соответственно), так и в жабрах (на 50 и 20 % соответственно) [3]. Наиболее высокая активность фермента обнаружена у мидий из б. Лазурная. В гепатопанкреасе она равнялась 58, а в жабрах 38 нмоль/мин/мг белка. Активность каталазы в жабрах у мидий из этого района была понижена на 20 %, а уровень глутатиона в гонадах снижен на 50 %. Все эти параметры подтверждают развитие окислительного стресса в клетках моллюсков из внутренних районов Амурского и Уссурийского заливов.

Заключение

Проведение исследований на биоценотическом, популяционном, организменном и молекулярном уровнях организации дает сопоставимую информацию о качестве вод в условиях загрязнения. По многим показателям заметны отличия экотоксикологической ситуации во внутренней и внешней (условно-фоновой) зоне прибрежных акваторий Амурского и Уссурийского заливов. В 2009-2020 гг. загрязнение перестало существенно ухудшать состояние прибрежных акваторий, хотя после залповых сбросов загрязняющих веществ, токсичность вод в районах сбросов кратковременно повышается до опасного уровня. В последние годы ситуация не улучшается. Наиболее благоприятные экотоксикологические условия были и остаются характерны для открытой островной зоны зал. Петра Великого. В настоящее время качество вод этих районов примерно соответствует ситуации начала 1980-х гг.

Литература

1. Ростов И.Д., Рудых Н.И., Ростов В.И. Межгодовая динамика уровня загрязненности акваторий залива Петра Великого за последние 40 лет // Вестник ДВО РАН. – 2015. – Т. 6. – №. 184. – С. 49-63.
2. Черкашин С.А., Вейдеман Е.Л. Экотоксикологический анализ состояния прибрежных экосистем залива Петра Великого (Японское море) // Вопр. рыболовства. 2005. – Т. 6. №4(24). – С. 637-652.
3. Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Нигматулина Л.В., Черняев А.П., Вейдеман Е.Л., Ирейкина С.А., Пряжевская Т.С. Комплексная химико-экологическая оценка состояния Уссурийского залива (Японское море) // Вод. ресурсы. – 2009. – Т. 36, № 5. – С. 615-622.

4. Лукьянова О.Н., Черкашин С.А., Симоконь М.В. Обзор современного экологического состояния залива Петра Великого (2000-2010 гг.) // Вестн. ДВО РАН. – 2012. — № 2. – С. 55–63.
5. Раков В.А., Еловская О.А., Федорец Ю.В., Косьяненко А.А., Васильева Л.Е. Многолетние изменения в сообществах зоопланктона и бентоса бухты Врангеля в период строительства и реконструкции Восточного Порты // Вестн. ДВО РАН. – 2018. – № 1. – С. 94-101.
6. Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В. Современное загрязнение донных отложений и экологическое состояние макрозообентоса в прибрежной зоне Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. – 2019. – Т. 196. – С. 155-181.
7. Черкашин С.А., Симоконь М.В., Пряжевская Т.С. Анализ экотоксикологического состояния Амурского залива (Японское море) на основе химических и токсикологических показателей // Вод. ресурсы. – 2019. – Т. 46, № 3. – С. 308–317.
8. Пряжевская Т.С., Черкашин С.А. Влияние меди на выживаемость мизид *Neomysis mirabilis* и *Paracanthomysis* sp. (Crustacea: Mysidacea) // Изв. ТИНРО. – 2014. – Т. 177. – С. 219-226.
9. Черкашин С.А. Влияние цинка на выживаемость некоторых видов мизид, десятиногих и веслоногих ракообразных из залива Петра Великого Японского моря // Биология моря. – 2020. – Том 46, № 3. – С. 200–206.
10. Седова Л. Г., Будникова Л. Л. Биологические характеристики мизиды *Neomysis mirabilis* в зависимости от условий обитания (залив Петра Великого, Японское море) // Изв. ТИНРО. – 2020. – Т. 200. – №. 1. – С. 101- 117.
11. Лукьянова О.Н. Молекулярные биомаркеры [Текст] – Владивосток.: ДВГАЭУ, 2001. – 196 с.

НОВЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ВОДНЫМ РЕСУРСАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ИХ КАЧЕСТВУ.

Г.М. Черногаева^{1, 2}, д.г.н., проф., Л.Р. Журавлева¹, Д.А. Галушин^{1, 3}, Малеванов Ю.А.¹

1) ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», Москва, Россия

2) ФГБУН «Институт географии РАН», Москва, Россия

3) ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», Москва, Россия

В докладе представлены информационные картографические материалы о количестве и качестве водных ресурсов пресноводных объектов Российской Федерации, а также показатели негативно-го воздействия на них по федеральным округам России и входящим в их состав субъектам федерации.

NEW METHODS OF REPRESENTING ELECTRONIC MAPPING MATERIALS ON WATER RESOURCES OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THEIR QUALITY.

1, 2) Chernogaeva G. M.^{1,2}, D.Sc. in Geography, prof., Zhuravleva L.R.¹, Galushin D. A.^{1,3}, Malevanov Yu.A.¹

1) Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, Russia, Moscow

2) Institute of Geography, Russian Academy of Science, Russia, Moscow

3) Russian Timiryazev State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy, Russia, Moscow

The report presents informational cartographic materials on the quantity and quality of water resources of freshwater objects in the Russian Federation, as well as indicators of the negative impact on them in the federal districts of Russia and the constituent entities of the federation that are part of them.

Введение

Рассматриваются проблемы оценки речного стока РФ и его качества по данным мониторинга Росгидромета в период с 2000 по 2020 гг. К проблемам относится оценка изменения речного стока в связи с изменяющимися климатическими условиями, эффективность методов оценок с учетом не только природных особенностей (бассейны рек, гидрографические бассейны), но и административных территорий (субъекты и федеральные округа), структура которых несколько раз менялась в XXI веке, что приводило к необходимости пересчитывать ретроспективу. Необходимость оценок по административным территориям возникла в конце прошлого века и ее актуальность в настоящее время только возрастает. Предлагается метод составления ежегодных интерактивных картографических материалов количества и качества водных ресурсов на единой основе, которая позволит субъектам РФ наиболее эффективно использовать речные воды на их территориях и улучшать их качество.

Материалы и методы

В работе использовались данные мониторинга Росгидромета (ГГИ, ГХИ, ИГКЭ) за последние 20 лет. В настоящее время гидрологическая сеть насчитывает ~ 3000 постов, гидрохимическая сеть ~ 2500 створов. Сравнение карто-схем гидрографических районов (рис. 1) и субъектов (рис. 2) показывает, что оценка по административно-территориальному устройству затрудняется тем обстоятельством, что расположение постов и створов не совпадает с границами админист-

ративных территорий, а изменение структуры административно-территориального деления вызывает необходимость пересчетов, которые требуют также оценок тенденций и динамики речного стока и его качества по каждому субъекту. В связи с этим в ИГКЭ совместно с указанными НИУ осуществлялось несколько попыток поисков наиболее эффективных решений проблемы. В результате, ИГКЭ было предложено следующее решение подготовки электронных интерактивных картографических материалов о количестве и качестве речного стока. За реперный (апробированный) год был выбран 2019 год. Комплект материалов подготовлен на базе геоинформационной системы QuantumGIS. Визуализация данных проводилась по методике ранжирования данных (по 5-ти балльной шкале). Каждой группе проранжированных данных был задан определенный интервал и цвет. Последующая по годам подготовка картографических материалов позволит по единой основе выпускать ежегодные электронные атласы, которые, безусловно, повысят эффективность оценок тенденций и динамики речных ресурсов и их качества по каждому субъекту РФ.



Рис. 1 Распределение рек по бассейнам [1]



Рис. 2 Субъекты РФ, пронумерованы согласно Конституции РФ (гл. 3 «Федератив-

Результаты и их обсуждение

В период с 2000 по 2020 гг. водные ресурсы Российской Федерации (сток рек, сформированный на территории страны плюс приток извне) проявили тенденцию медленного повышения (рис. 3).

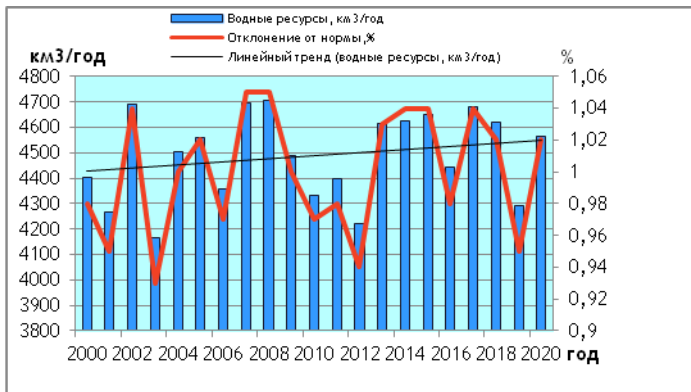


Рис. 3 Водные ресурсы РФ за период 2000-2020 гг. (км³/год) и отклонение от среднего многолетнего значения (%) [3, 4]

Как показал анализ хронологических графиков объёма годового стока рек (W), в бассейне основной реки ЕТР – Волги – наблюдалась незначительная тенденция повышения (рис. 4). Противоположно направленные тенденции изменения водных ресурсов проявлялись в бассейнах крупнейших рек АТР: Енисей (снижение) и Оби (повышение), а в бассейне Лены тенденции практически не проявлялись.

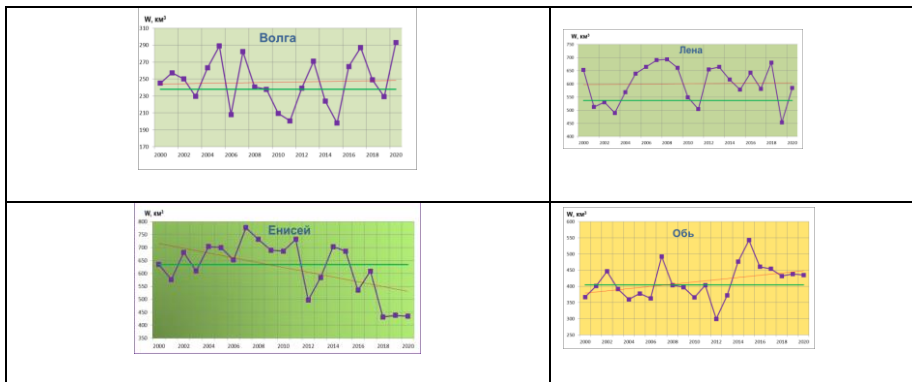
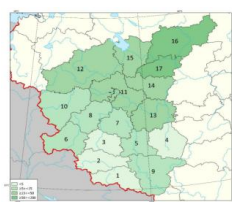


Рис. 4 Водные ресурсы основных рек РФ за период 2000-2020 гг. (зеленая линия – среднее многолетнее значение, км³, красная линия – тренд) [3,4]

Количество водных ресурсов не дает представления о современном их загрязнении. В результате в ИГКЭ в форме Атласа было построено 48 карт по количеству и качеству водных ресурсов пресноводных объектов РФ. Размер небольшой статьи не позволяет рассмотреть все 48 карт². В связи с этим показаны карты по субъектам Центрального и Уральского ФО. Представленная в Атласе детализация по округам и субъектам (средний многолетний сток, речной сток конкретного года, сбросы загрязненных сточных вод, а также процент створов в каждом субъекте, относящихся к следующим классам качества: к «загрязненной» (3 класс), «грязной» (4 класс), «экстремально грязной» (5 класс)), свидетельствует о необходимости такой, а в дальнейшем и большей детализации, для принятия мер по эффективному использованию водных ресурсов и улучшению их качества.

² http://downloads.igce.ru/publications/Atlases/Atlas_20092021.pdf

Эта работа уже нашла отражение в изданных «Обзорах состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации» за 2019 и 2020 гг.



а (I)



б (I)



в (I)



а (II)



б (II)



в (II)

Рис. 5 Визуализация характеристик субъектов округов в Центральном (I) и Уральском (II) федеральных округах: а – средние многолетние значения речного стока, км³/год; б – речной сток в 2019 г., км³/год; в – сбросы загрязненных сточных вод в водные объекты в 2019 г., млн. м³/год; г – наиболее загрязненные створы на пресноводных объектах в 2019г., % [5]

Выводы

1. Несмотря на изменение климата, водные ресурсы страны в XXI веке варьировали незначительно, пре-

высив за последние 20 лет среднее многолетнее значение ~ на 1%.

2. Качество воды основных рек страны, их притоков мало изменяется в XXI веке. Наиболее загрязненной из крупных рек, также как и в предыдущие годы, остается Волга и реки ее бассейна [6, 7]. От 30 до 50% створов рек в субъектах РФ, где в последние годы была полностью выполнена программа наблюдений, и можно было определить класс качества, характеризуются «загрязненными» водами, а с учетом створов, где воды характеризуются как «грязные» и «экстремально грязные», процент створов с неудовлетворительным качеством воды составляет от 70 до 100%.

Литература

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. проф. И.А. Шикломанова – СПб.: Государственный гидрологический институт. – 600 с. ISBN 978-5-98147-006-6.
2. Черногаева Г.М., Жадановская Е.А., Журавлева Л.Р., Малеванов Ю.А. Загрязнение окружающей среды в регионах России в начале XXI века. М.: ООО «ПОЛИГРАФ-ПЛЮС», 2019. 232 с.
3. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. - Ежегодное издание. Отв. ред. Г.М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2001-2021, 240 с.
4. Тенденции и динамика состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации по данным многолетнего мониторинга за последние 10 лет. Аналитический обзор / Отв. ред. Г.М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2007, 2013, 2017. 49 с.
5. Черногаева Г.М., Малеванов Ю.А., Галушин Д.А., Журавлева Л.Р. и др. Атлас водных ресурсов и их качества

по данным мониторинга Росгидромета за 2019 г. 2021.
ООО «Принт», 49 с.

6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. — М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2020. — 1000 с.
7. Качество поверхностных вод Российской Федерации за 2019 год. Ежегодник / Глав. ред. М.М. Трофимчук. Ростов-на-Дону: ФГБУ «ГХИ», Росгидромет, 2020. 554 с.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ
Ю.Н.Чижова ¹, М.Б.Киреева ², Н.Р. Повалыев, А.Н. Козачек³

1. ИГЕМ РАН, Москва;
2. МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва;
3. ЛИКОС ААНИИ, С.-Петербург.

Выполнено изучение формирования изотопных характеристик подземных вод водоносного горизонта евлановско-ливенской карбонатно-терригенной свиты, опробованной в г.Елец Липецкой области. Показано, что значения $\delta^{18}O$ и δ^2H воды за 9 месяцев наблюдения имели очень небольшой диапазон вариаций. Установлено, что питание горизонта происходит преимущественно за счет инфильтрации атмосферных осадков зимнего периода.

THE STUDY OF INFILTRATION OF PRECIPITATION TO GROUNDWATER BY ISOTOPE METHOD

Yu.N. Chizhova ¹, M.B. Kireeva ², N.R. Povalyaev, A.N. Kozachek³

1. IGEM RAS, Moscow;
2. Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow;
3. LIKOS AANII, St. Petersburg.

The study of the formation of isotopic signature of groundwater in the aquifer of the Evlanovsko-Livenskoy carbonate-terrigenous suite, based on sampling tap water in Yelets, Lipetsk region, has been carried out. It was shown that the $\delta^{18}O$ and δ^2H values of water for 9 months of observation had a very small range of variations. The predominant role of winter recharge on this aquifer was found.

Введение

Питание подземных вод в зоне интенсивного водообмена обеспечивается, главным образом, инфильтрацией атмосферных осадков. Актуальность изучения питания связана с анализом перспектив использования подземных вод для водоснабжения и оценкой их эксплуатационных запасов. Кроме того, прогнозы питания подземных вод прямо связаны с современными климатическими изменениями, приводящими к аномальным гидрометеорологическим условиям.

С целью изучения формирования изотопного состава подземных вод на примере водоносного горизонта евлановско-ливенской карбонатно-терригенной свиты были выполнены систематические наблюдения за динамикой величин $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ воды. Исследование базировалось на основе изотопного анализа водопроводной воды, отобранной в г.Елец Липецкой обл. на декадной основе с сентября по май. Водоснабжение г.Елец осуществляется забором воды из водоносного горизонта евлановско-ливенской карбонатно-терригенной свиты (D3 ev-lv), которая развита в северо-восточной и северо-западной части Липецкой области и приурочена к верхней части отложений евлановской свиты верхнего девона. Водовмещающие породы представлены известняками слабоглинистыми, от плотных скрыто кристаллических до трещиноватых, незначительно кавернозных, в отдельных прослоях конгломератовидными, плитчатыми. Известняки чередуются с мергелями и аргиллитоподобными глинами.

Мощность водовмещающих пород изменяется от 6,8 до 35,8 м, преобладает 18-24 м. Глубина залегания уровня зависит от рельефа и варьирует от 4,5 до 72,0 м, преобладает 50 -

70 м. Абсолютные отметки кровли изменяются от 137 до 58 м.

Распространение карбонатных пород, выраженная закарстованность благоприятствуют инфильтрации атмосферных осадков. Эксплуатируемые верхнедевонские горизонты и комплексы на большей части территории Липецкой области залегают непосредственно под проницаемыми четвертичными отложениями, что обеспечивает их площадное питание, компенсирующее водоотбор.

Материалы и методы

Отбор водопроводной воды проводился каждую неделю с сентября по май. Дополнительно в зимний сезон были выполнены маршрутные снегомерные работы в бассейне р. Сосны. Пробы воды и растопленного снега переливались в пластиковые пробирки, запаковывались парафиновой лентой и хранились в холодильнике. Анализ изотопного состава кислорода и водорода выполнен в лаборатории ААНИИ на изотопном анализаторе Picarro L2130-i. Точность измерений составила 0,04‰ для величин $\delta^{18}\text{O}$ и 0,1‰ для величин $\delta^2\text{H}$. Значения калиброваны в шкале VSMOW-VSLAP.

Результаты

Значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ водопроводной воды за все время наблюдений варьировали от $-11,33$ до $-11,66$ ‰ и от $-83,7$ до $-85,7$ ‰. Это очень узкий диапазон сезонных колебаний, который говорит о хорошем усреднении значений атмосферных осадков. Атмосферные осадки отбирались также на декадной основе, если они выпадали в жидком виде. Общая амплитуда вариаций $\delta^{18}\text{O}$ осадков составила 11‰ (от $-16,3$ в феврале до $-5,2$ ‰ в мае). Изотопные характеристики твердых осадков установлены по результатам снегомерных съемок в бассейне

р. Сосны. Снежный покров в зимний сезон 2019-2020 г., опробованный в 4 снежных шурфах в долине р. Сосны, характеризовался значениями $\delta^{18}\text{O}$ от $-11,7$ до $-20,4\%$. Осредненная по всем шурфам и горизонтам отбора величина $\delta^{18}\text{O}$ составила $-16,2\%$. Полученные значения осадков с одной стороны, не покрывают полного календарного года, с другой – обладают достаточно выраженной вариативностью, которая присуща конкретному году наблюдений. Для более полной картины удобнее пользоваться расчетными величинами $\delta^{18}\text{O}$ осадков, полученных с применением калькулятора OIPС (<https://wateriso.utah.edu/>). Работа этого калькулятора основана на моделировании, опирающимся на глобальные международные базы данных. Расчет калькулятора показал амплитуду сезонных вариаций значений $\delta^{18}\text{O}$ в $10,3\%$ (от $-4,8$ в июле до $-15,1\%$ в январе). Среднегодовое средневзвешенное значение $\delta^{18}\text{O}$ осадков составляет $-9,78\%$.

Выраженное усреднение изотопного сигнала, характерного для атмосферных осадков, происходит при длительном времени пребывания воды в резервуаре – водоносном горизонте. Объем резервуара связан с площадью водосбора, составом и трещиноватостью пород, глубиной залегания. Эффективное усреднение происходит тогда, когда этот объем значителен по сравнению со скоростью поступления вод и их разгрузки, в результате чего вода, попавшая в резервуар, пребывает в ней в течение значительного времени. Существует методический подход к расчету времени пребывания воды в резервуаре по величине годовой амплитуды значений $\delta^{18}\text{O}$ или $\delta^2\text{H}$. Сезонная амплитуда значений $\delta^{18}\text{O}$ и δD осадков принимаются за входящие условия системы, а затухание колебаний, т.е. уменьшение амплитуды величин $\delta^{18}\text{O}$ и δD на выходе связано со временем пребывания воды в системе [1]. Этот метод имеет свои ограничения, связанные с неравномерностью поступления воды в резервуар, если вода посту-

пает не каждый месяц или наоборот, поступление воды в какие-то месяцы настолько преобладает, что полностью отвечает за водный баланс резервуара. Поэтому в данном случае, можно только приблизительно говорить о том, что время пребывания воды довольно продолжительное (годы).

Точки водопродной воды на изотопной диаграмме находятся на линии, аппроксимирующей среднемесячные осадки района исследований (рис. 1). Это указывает на отсутствие процессов, таких как испарение, влияющих на баланс сезонных осадков. Таяние снежного покрова формирует не только весеннее половодье, но и составляет существенную долю в питании грунтовых вод [2; 3]. Мы использовали значения $\delta^{18}\text{O}$ снежного покрова, как и среднемесячные величины $\delta^{18}\text{O}$ атмосферных осадков, чтобы рассчитать вклад сезонных осадков в формирование изотопного состава кислорода подземных вод ($\delta^{18}\text{O}_{\text{вв}}$).

Уравнение изотопного баланса имеет вид:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{лето}} \times f_1 + \delta^{18}\text{O}_{\text{зима}} \times f_2 = \delta^{18}\text{O}_{\text{вв}}$$

$$f_1 + f_2 = 1$$

Для решения этого уравнения важным является установить сезон, который мы принимаем за зимний и за летний. Поскольку таяние снежного покрова начинается в апреле, то жидкие осадки, выпадающие на снежный покров в марте и апреле, насыщают снежный покров и участвуют в формировании половодья. Влагоемкость снежного покрова обеспечивает возможность удержания большого количества жидкой воды вплоть до момента его интенсивного таяния. Таким образом, внутри тающего снежного покрова содержится изотопная метка и зимнего снега и весенних дождей. Поэтому в качестве зимнего сезона выбраны месяцы с декабря по апрель включительно, величина $\delta^{18}\text{O}$ осадков этого периода составила $-14,82\%$. В качестве изотопных параметров осадков каждого месяца брались расчетные величины $\delta^{18}\text{O}$ по калькулятору ОИРС, средневзвешенные по количеству осадков, но за изотопную метку декабря, января и февраля было взято

среднее значение для снежного покрова. Для летнего сезона (с мая по сентябрь включительно) средняя величина $\delta^{18}\text{O}$ составила $-5,87\text{‰}$. Поскольку значение $\delta^{18}\text{O}$ водопродной воды постоянно во времени, для расчета использовалось среднее значение $\delta^{18}\text{O} = -11,5\text{‰}$.

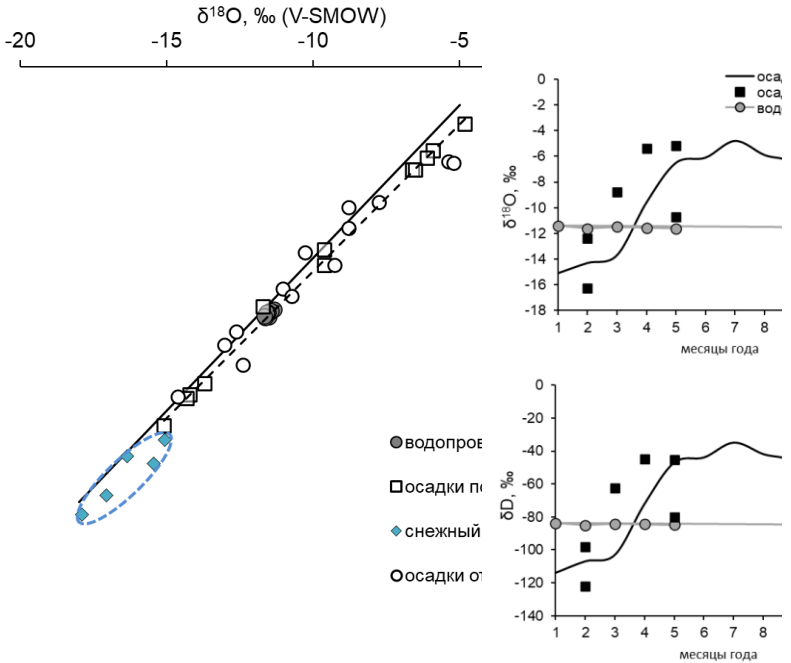


Рис. 1. Соотношение $\delta^{18}\text{O} - \delta^{2}\text{H}$ для воды, атмосферных осадков и снежного покрова, а также сезонный ход величин $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{2}\text{H}$ в осадках, согласно калькулятору OIPС

Согласно уравнению изотопного баланса вклад зимних атмосферных осадков (с декабря по апрель включительно) в питание грунтовых вод составляет 56%. Если решить урав-

нение изотопного баланса для установления доли летнего питания (с мая по сентябрь включительно), то доля осадков этого периода составляет 24%, а 76% - всего остального года, т.е. с октября по апрель. То, что в инфильтрационном питании подземных вод доля летних осадков составляет только 24% связано с потерей влаги на суммарную эвапотранспирацию. Влияние эвапотранспирации существенно в период года, когда среднесуточные температуры воздуха выше +5°C. Для г. Елец это период с мая по сентябрь включительно. Осенью при опускании температуры ниже указанного порога жидкие атмосферные осадки идут преимущественно на восполнение дефицита влаги в почве и зоне аэрации, сформированного в летнюю межень. Судя по изотопному балансу, инфильтрационное питание на 56% обеспечивается за счет осадков зимы (с декабря по апрель), т.е. таяние снежного покрова наиболее эффективно питает грунтовые воды.

Похожий эффект преобладания зимнего питания подземных вод был установлен для вод карстовых источников Крыма, для которых изотопный состав кислорода воды отражает не среднегодовой, а преимущественно зимний состав осадков зоны питания. Пополнению резервуара подземных вод преимущественно за счет зимних осадков способствуют низкие температуры, высокая влажность и многократное в течение зимы стаивание и обновление снежного покрова [3]. Здесь же в выходе подземных вод было отмечено постоянство изотопного состава кислорода, что подтверждает ранее отмеченные эффекты гомогенизации изотопного сигнала осадков вследствие буферной роли эпикарстовой зоны [4].

При исследовании особенностей формирования подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов Санкт-Петербурга также было отмечено преимущественное

питание за счет осадков холодного периода года [5]. Воды девонских, ордовикских, кембро-ордовикских и ломоносовских горизонтов характеризуются незначительными вариациями вокруг средних значений $\delta^{18}\text{O} \approx -12\text{‰}$ и $\delta^2\text{H} \approx -95\text{‰}$, что несколько легче взвешенного среднегодового состава осадков ($\delta^{18}\text{O} = -9,7\text{‰}$ и $\delta^2\text{H} = -95\text{‰}$) и значительно тяжелее среднего состава снега за период наблюдений ($\delta^{18}\text{O}$ от $-14,5$ до $-17,0\text{‰}$ и $\delta^2\text{H}$ от -112 до -132‰). Данное смещение относительно взвешенного среднегодовых значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ осадков указывает на преимущественное питание осадками холодного периода [5].

Выводы

Выполненные систематические наблюдения за динамикой величин $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ воды водоносного горизонта евлановско-ливенской карбонатно-терригенной свиты позволили установить преобладание зимних осадков в инфильтрационном питании. Питание свиты происходит в основном за счет инфильтрации вод из вышележащих гидрогеологических подразделений, которые получают питание за счет атмосферных осадков. Опираясь на расчет изотопного баланса, можно заключить, что водность горизонта будет и дальше зависеть от количества осадков холодного периода года. Климатические изменения, если они будут выражены в увеличении зимних температур воздуха и отсутствии постоянного снежного покрова, могут привести к увеличению инфильтрационного питания подземных вод.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект 19-77-10032

Литература

1. Kusakabe M., Wada H., Matsuo S. Oxygen and hydrogen isotope ratios of monthly collected waters from Nasudake volcanic area, Japan // Journal of Geophysical research. 1970. Vol.75 (30), 5941-5951.
2. Токарев С.В., Токарев И.В., Амеличев Г.Н. Изучение условий питания водоносных комплексов в неогеновых отложениях Равнинного Крыма с использованием метода стабильных изотопов // Геополитика и экогеодинамика регионов. Том 3 (13). Вып. 4. 2017 г. С. 78–90.
3. Дублянский Ю.В., Климчук А.Б., Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Шпётль К. Изотопный состав атмосферных осадков и карстовых источников северо-западного склона Крымских гор // Спелеология и карстология, № 9. Симферополь. 2012. – С. 14-21.
4. Ford D., Williams P. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Wiley, Chichester, 2007. 562 pp.
5. Виноград, Н. А., Токарев, И. В., Строганова, Т. А. Особенности формирования подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов Санкт-Петербурга и окрестностей по данным о химическом и изотопном составе. Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, 2019. 64 (4), 575–597.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СЕТОЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Шикломанов А.И.^{1,2}, Третьяков М.В.¹, Волкова Д.Д.¹, Трунин А.А.¹

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

2- Университет Нью-Гэмпшира, США

В ходе исследования была проведена оценка точности данных климатических реанализов ERA5, NCEP-NCAR и MERRA-2 по сравнению с информацией наземной метеорологической сети для территории бассейна Северного Ледовитого океана. Оценена надежность осадков, температуры и влажности воздуха в климатических реанализах для моделирования речного стока.

ANALYSIS OF APPLICABILITY OF DIFFERENT GRIDDED CLIMATE DATA FOR HYDROLOGICAL MODELING

Shiklomanov A. I.^{1,2}, Tretiakov M. V.¹, Volkova D. D.¹, Trunin A. A.¹

1-Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

2-University of New Hampshire, New Hampshire, USA

The accuracy of the ERA5, NCEP-NCAR and MERRA-2 climatic reanalyses for the territory of Russian Arctic Ocean drainage basin has been assessed by their comparison with data of in situ meteorological network. Evaluation of the reliability of precipitation and air temperature data in climatic reanalyses for river runoff modeling has been fulfilled.

Введение

Оценка надежности различных сеточных климатических данных является важной задачей как для оценки современных изменений климатических характеристик на водосборе Северного Ледовитого Океана (СЛО), так и для разработки

рекомендаций по их использованию в различных наземных моделях (например, гидрологических, мерзлотных, растительности и пр.). В данной работе были проанализированы три наиболее популярные климатические реанализы: MERRA2 - продукт НАСА, широко использующий данные дистанционного зондирования [1]; ERA-5 – имеющий наилучшее пространственное разрешение и разработанный в Европейском Центре по Среднесрочным Прогнозам, Погоды (ECMWF) [2] и NCEP-NCAR [3] – охватывающий наиболее продолжительный период с 1948 года и публикуемый NOAA (Национальное Управление Океанических и Атмосферных Исследований США).

Метод исследования

Выбранные климатические реанализы имеют различное разрешение по времени и пространству. Поэтому для их сравнения и анализа был выбран общий период с 1980 по 2020, а для использования их данных в гидрологической модели они были приведены к единому пространственному разрешению - 30 минут. Хотя климатические реанализы содержат многочисленную информацию по разным слоям атмосферы, в нашем исследовании анализировались только приземные данные, которые используются в гидрологических и других моделях подстилающей поверхности. Оценка надежности данных климатических реанализов выполнялась в несколько этапов. В начале сравнивались абсолютные значения осадков, температуры и влажности воздуха с их наблюдаемыми значениями на наземной метеорологической сети. Для этого использовались сеточные данные CRU (Climate Research Unit, Университет Восточной Англии), которые получены на основе интерполяции данных метеорологических станций. Были проанализированы среднесезонные отклонения годовых и месячных значений рассматриваемых метеорологических характеристик по данным реанализов от их величин на основе CRU. Карты их отклонений были построены для

территории Российского водосборного бассейна СЛО и выявлены регионы, с наилучшим и наихудшим соответствием данных реанализов и наземных метеорологических наблюдений. На втором этапе было проанализировано насколько тренды изменений метеорологических характеристик в реанализах соответствуют данным наземных наблюдений и построены карты распределения этих трендов по водосбору СЛО. Также были получены осредненные значения этих трендов для водосборов крупных Арктических рек, которые могут быть использованы для оценки возможных причин изменения речного стока этих рек.

Следует отметить, что сеточные данные CRU, использованные в качестве реперных, тоже обладают существенной погрешностью, особенно для метеорологических параметров, отличающихся значительной пространственной изменчивостью (осадки и влажность воздуха) и трудностью их точного измерения на метеостанциях при специфических погодных условиях (осадки). Также надежность сеточных данных CRU значительно падает в регионах с редкой метеорологической сетью и сложным рельефом, например на севере Центральной и Восточной Сибири. Поэтому для того, чтобы оценить надежность данных реанализов и CRU для гидрологического моделирования были выполнены расчеты различных гидрологических характеристик на основе Водно-Балансовой Модели (ВБМ) университета Нью Гэмпшира [4] с использованием метеорологических данных от MERRA2, NCEP-NCAR, ERA5 и CRU по водосбору СЛО с пространственным разрешением 30 минут. Был выполнен анализ среднемноголетних значений речного стока по территории рассматриваемого бассейна, а также рассмотрены тенденции его изменения по территории на основе использования различных климатических данных. Для более надежной оценки применимости тех или иных полей метеорологических данных в гидрологических моделях было выполнено сравнение смоделированных

гидрографов стока на замыкающих створах с гидрографами, построенными по данным наблюдений на гидростворах.

Результаты анализа

В первую очередь было проверено насколько хорошо в климатических реанализах отражены многолетние тренды температуры воздуха и осадков по территории бассейна Северного Ледовитого Океана (СЛО). На Рис.1 представлены изменения температуры воздуха по разным климатическим данным, полученные на основе линейной регрессии за период с 1980 по 2020.

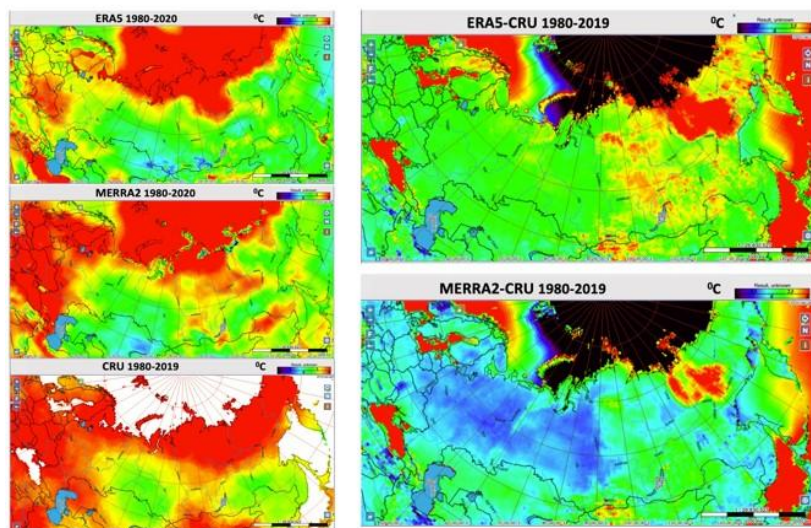


Рис.2 Разница между среднемноголетней годовой температурой воздуха за период 1980-2019 по данным реанализов и полей, построенных на основе наземных метеорологических наблюдений (CRU) (данные CRU представлены только для суши).

Наименьшие положительные изменения температуры воздуха наблюдаются по данным реанализа ERA-5. Они существенно отличаются от трендов, полученных на основе данных метеонаблюдений (CRU), особенно на Европейской территории и в Восточной Сибири, а также в южных районах Западной и Центральной Сибири, где согласно данным ERA5 температура воздуха даже немного уменьшилась за рассматриваемый период. Данные MERRA-2 показывают лучшее соответствие многолетних изменений температуры воздуха с наземными метеоданными (CRU). Однако, MERRA-2 также существенно недооценивает увеличение температуры воздуха в Сибири восточнее бассейна р. Лена и районе Обско-Тазовской устьевой области (Рис.1).

Сравнение среднееголетних значений по данным реанализов с температурой воздуха на основе метеонаблюдений (CRU) показало, что реанализ ERA5 существенно (до 5°C) завышает среднегодовую температуру в Восточной Сибири в регионе от бассейна Лены до бассейна Колымы, а также до 3.5°C в отдельных районах Центральной и Восточной Сибири (Рис.2). В остальных районах бассейна СЛО среднегодовая температура по ERA5 превышает данные наземных метеонаблюдений на $1-1.5^{\circ}\text{C}$. Абсолютно другая картина наблюдается с данными MERRA-2. На большей части бассейна СЛО, включающей Европейскую часть, Западную и Центральную Сибирь до Енисея среднегодовая температура по данным MERRA-2 на $1-2^{\circ}\text{C}$ ниже данных наблюдений (Рис. 2). В то же время наблюдается превышение температуры по данным MERRA-2 на $2-4^{\circ}\text{C}$ в бассейнах рек Яны и Индигирки. В целом, данные реанализа MERRA-2 лучше описывают многолетние изменения температуры воздуха в бассейне СЛО, а данные ERA5 имеют меньшее отклонение от данных приземных метеорологических наблюдений.

Анализ изменения осадков в климатических реанализах показал, что данные ERA5 показывают уменьшение среднегодовых осадков на значительной части водосборного бассейна СЛО, которое особенно существенно в верховьях Северной Двины, Оби, Енисея и Лены (Рис.3).

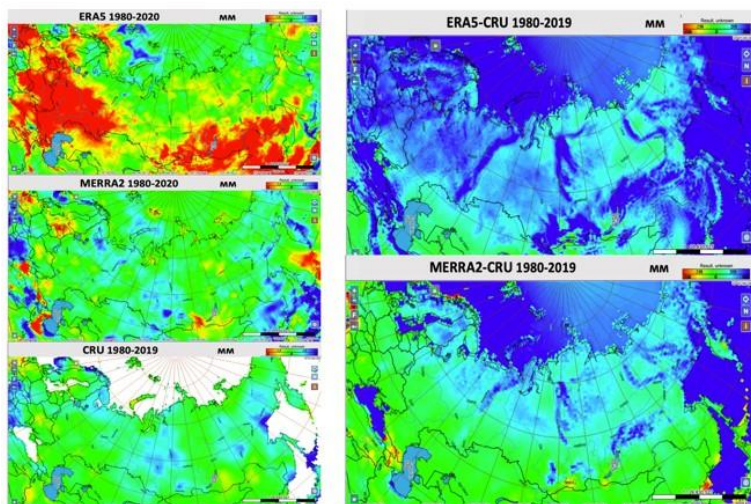


Рис.3 Накл Рис.4 Разница между среднегодовыми осадками годовых о за период 1980-2019 по данным реанализов и полных климатических наблюдений (CRU) (данные CRU представлены только для суши)

По данным реанализа MERRA-2 осадки в бассейне СЛО увеличились, причем наибольший их рост произошел в бассейнах Северной Двины, Печоры, Оби, Енисея и Алдана, а наибольшее снижение в бассейнах Ангары и Селенги. В целом тренды годовых осадков по MERRA-2 соответствуют изме-

нениям среднегодовых осадков на основе данных метеорологических станций (CRU), хотя и носят более ярко выраженный характер (Рис. 3). ERA5 существенно завышает среднегодовые осадки по большей части водосборного бассейна СЛО. Значительное превышение над осадками по данным метеостанций достигающее 150-300 мм/год наблюдается на Европейской территории и на юге Центральной и Восточной Сибири (Рис.4). Еще больше до 400 мм/год среднегодовые осадки за период 1980-2019 по данным ERA5 превышают осадки по CRU в горных районах, включая Уральские горы, Алтай, Тянь-Шань, плато Путорана и Верхоянский хребет.

Данные MERRA-2 по осадкам имеют гораздо меньшее отличие от данных метеостанций (CRU), чем ERA5. Существенное превышения среднегодовых осадков по MERRA-2 над данными метеостанций до 250 мм/год, главным образом, наблюдается в горных районах и на севере водосборного бассейна СЛО, где сеть метеорологических станций довольно редкая и большая пространственная изменчивость осадков, вследствие сложного рельефа (Рис. 4). Интерполяция осадков по данным метеостанций, в таких условиях представляет большую сложность и часто ведет к существенному их недоучету. Поэтому мы считаем, что осадки в реанализе MERRA-2 являются достаточно надежными для выполнения гидрологических исследований и моделирования.

Результаты расчетов стока на гидрологической модели ВБМ с использованием данных климатического реанализа MERRA-2 показывают наилучшее совпадение смоделированного годового стока с наблюдаемыми значениями стока на замыкающих гидростворах крупных рек. Сток, рассчитанный на основе данных фактических наблюдений CRU существенно недооценен, а сток на основе NCEP-NCAR и ERA5 реанализов значительно переоценен, что говорит о соответствующем занижении и завышении осадков в этих продуктах.

Выводы

В результате выполненной работы были получены следующие основные выводы:

1. Лучшие абсолютные значения температуры воздуха наблюдаются по данным реанализа ERA-5, однако MERRA-2 лучше описывает многолетние изменения температуры воздуха в бассейне СЛО за период 1980-2020.
2. ERA5 и NCEP-NCAR существенно завышают среднегодовые осадки по большей части водосборного бассейна СЛО, а данные MERRA-2 по осадкам имеют гораздо меньшее отличие от данных метеостанций (CRU) и показывают по большей части исследуемой территории тренды, соответствующие данным наземных наблюдений.
3. Результаты расчетов стока на гидрологической модели Университета Нью Гэмпшира, США (ВБМ) с использованием данных климатических реанализов и CRU показали, что расчеты на основе MERRA-2 дают наилучшее совпадение смоделированного годового и сезонного стока с его наблюдаемыми значениями на замыкающих гидростворах крупных рек.

В заключение, следует отметить, что несмотря на то что, абсолютные значения годового стока и его межгодовая изменчивость более надежно моделируется с использованием данных климатического реанализа MERRA-2, они плохо отражают тенденции изменения годового стока. Наибольшие расхождения в моделировании трендов изменений годового стока на основе различных климатических данных наблюдаются в бассейне Лены и Енисея и говорит о том, что наблюдаемые увеличения стока этих рек, в значительной степени, обусловлены не ростом осадков, а повышением температуры воздуха и изменениями в сезонном промерзании почвы и частичном оттаивании многолетней мерзлоты, которые недостаточно

надежно учитываются в используемой гидрологической модели ВБМ.

Литература

1. Ronald Gelaro, et al., The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) 2017, J. Clim., doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1
2. Hersbach, H. et al., The ERA5 Global Reanalysis May 2020. QJRMS
3. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project: March 1996 BAMS.
4. Wisser, D., B. et al., Reconstructing 20th century global hydrography: a contribution to the Global Terrestrial Network- Hydrology (GTN-H), *Hydrology and Earth System Science*, 14, 1-24.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕР-
НОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ГОДОВОГО
ТВЕРДОГО СТОКА РЕК СЕВЕРО-ЗАПАДА

М.В. Шмакова

ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН, СПб, РФ

SPATIAL AND TEMPORAL PATTERNS OF THE DIS-
TRIBUTION OF THE ANNUAL SOLID FLOW MOD-
ULE OF THE RIVERS OF THE NORTH-WEST

M.V. Shmakova

Institute of Limnology RAS, Saint-Petersburg, Russia

*Внутригодовое распределение твердого стока исследуемых водо-
токов характеризуется небольшими значениями для межени и
значительно превышающими их значениями твердого стока в по-
ловодье. В результате исследования выявлено уменьшение стока
наносов изучаемых рек во втором климатическом периоде на фоне
общего увеличения водности последних.*

*The intra-annual distribution of solid runoff of the studied watercourses
is characterized by small values for the low-water mark and significant-
ly higher values of solid runoff in high water. As a result of the study, a
decrease in the sediment runoff of the studied rivers in the second cli-
matic period was revealed against the background of a general increase
in the water content of the latter.*

Основные положения. Одним из важных показателей переменных состояния двухфазной циркуляции водных масс в водном объекте является твердый сток. Твердый сток водного объекта – это находящееся в речном потоке или движущихся массах озерных вод твердое вещество различного генезиса – грунтового (твердые минеральные частицы) или органического. Твердый сток водных объектов может рассмат-

риваться в различных приложениях – статическом (мутность воды), динамическом (расход взвешенных и влекомых наносов, общий расход наносов) и косвенно динамическом (изменение отметок дна и переформирование берегов).

Любой неустановившийся неравномерный двухфазный поток характеризуется процессами перераспределения твердого вещества в русле или акватории водного объекта (если речь идет о водоеме). При этом могут наблюдаться как процессы осаждения и взмыва твердого вещества, так и транзитного следования наносов.

Неустановившееся движение потока вызвано изменением интенсивности поступления воды из верхнего створа и поверхности водосбора и характеризует гидрологический режим водного объекта. Для водоема неустановившееся движение может быть инициировано помимо изменения режима притоков также и ветровыми и плотностными течениями.

Формирование стока наносов и мутности водного объекта, как и для любого природного процесса, зависит от целого комплекса причин. Однако, в зависимости от типа водного объекта, источники твердого вещества и вклад той или иной составляющей этого процесса может быть различен. Одним из основных источников наносов для водотоков и водоемов является почвенная эрозия. Интенсивность почвенной эрозии определяется физико-механическими характеристиками почво-грунтов, слагающих водосборную площадь, типом растительности, климатическими характеристиками, а также интенсивностью антропогенной деятельности на водосборе [1]. Поступление твердого вещества с поверхности водосбора может происходить в результате ветрового переноса пылеватых частиц, водно-эрозионной деятельности микроручейковой сети в период интенсивных осадков и снеготаяния. Изменение условий формирования твердого стока на водосборе меняет вклад эрозионно-русловой деятельности речного потока в общие процессы формирования и транспорта стока наносов.

В работе [2] рассматривается ряд водотоков разной физико-географической принадлежности, социально-экономической освоенности и направленности изменений климатических факторов, определяющих формирование стока. Для всех рассматриваемых рек имеют место разнонаправленные тенденции изменения стока наносов к началу 2000 года. При этом выраженной зависимости увеличения стока наносов от увеличения водности для этих водотоков не выявлено, что полагает водность рек лишь одним из определяющих твердый сток факторов. Так, например, для р. Язгулем (Таджикистан) при общем уменьшении стока реки на 4 % за период 1950 – 1986 гг. увеличение стока наносов составило 154%. Причинами увеличения твердого стока полагается развитием сельскохозяйственной деятельности, в частности выпаса скота [2]. При увеличении стока р. Колымы на 4 % для периода 1942 – 1989 гг. увеличение стока наносов составило 147 % за счет расширения золотодобывающей деятельности в пределах водосборного бассейна [2].

Большие социально-экономические перемены в нашей стране на переломе двух тысячелетий, выраженные тенденции к потеплению в северо-западном регионе также привели к изменению условий формирования стока наносов рек. Целью данной работы является анализ многолетних изменений стока наносов некоторых водотоков Северо-Запада Российской Федерации.

Объект исследования. Южная и центральная части Северо-Запада России, где расположены исследуемые водотоки, находится в зоне достаточного увлажнения и характеризуется большой залесенностью. Основная часть водотоков расположена в пределах Русской равнины, реки Паша, Оять, Тихвинка – на границе Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Русская плита здесь сложена с поверхности глинами, известняками, песчаниками и доломитами [3]. Грунты характеризуются как устойчивые [3], что определяет и небольшие значения стока наносов и мутности рек этого

региона. При этом карстующиеся известняки Ордовикского (Ижорская возвышенность) и Карбонового плато определяют питание рек этого района преимущественно осветленными подземными водами. К такому водотоку с пониженной мутностью воды относится река Луга, основная часть бассейна которой расположена на Ордовикском плато.

Наблюдения за расходами наносов и мутностью воды на реках Северо-Запада проводились относительно регулярно и продолжительно лишь на девяти водотоках, охватывая период со второй половины прошлого века по настоящее время. В таблице приведен список гидрометрических створов с продолжительными данными наблюдений за твердым стоком и указанием бассейновой принадлежности представленных водотоков. Анализ внутригодового распределения твердого стока исследуемых водотоков, перечень которых приведен в таблице, проводился на основании данных изданий ОГХ и Гидрологических Ежегодников за разные годы.

Таблица. Реки с продолжительными наблюдениями за стоком наносов

№ г/м створа	Река	Створ	$F, \text{ км}^2$	Уклон, б/р	$M_{\text{год}}, \text{ т}/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$
Частный бассейн Ладожского озера					
<i>Притоки р. Свирь</i>					
1	Паша	с. Часовенское	571 0	0.00090	2.1
2	Оять	д. Акулова Гора	483 0	0.00097	7.4
<i>Приток р. Сясь</i>					
3	Тихвинка	д. Горелуха	207 0	0.00113	3.9
Бассейн оз. Ильмень					

<i>Впадает в оз. Ильмень</i>					
4	Пола	д. Налючи	645 0	0.00122	5.2
5	Мста	д. Девкино	225 00	0.00049	7.3
6	Ловать	г. Холм	147 00	0.00038	4.1
<i>Приток р. Ловать</i>					
7	По- листь	д. Утушки- но	145 0	0.00059	4.5
Впадает в Финский залив					
8	Луга	г. Луга	233 0	0.00018	0.41
Впадает в Чудско-Псковское озеро					
9	Пскова	д. Черняко- вицы	914	0.00142	8.4

Результаты. В таблице приведены средние значения годового модуля твердого стока $M_{\text{год}}$, т/(км²·год), рассчитанного за период с 1991 года по настоящее время для расчетных створов. Наибольшие значения этой величины (7.4 – 8.4 т/(км²·год)) приходятся на водосборы рек Пскова, Мста и Оять. Сравнительно небольшая площадь водосбора р. Пскова (менее 1000 км²) предполагает преимущественный вклад в формирование стока наносов склоновой эрозии, что и определяет достаточно высокие значения годового модуля твердого стока [3]. На берегах рек Оять и Мсты много обнажений песчаников и глин, которые со склоновым стоком в благоприятные для этого периоды формируют повышенные концентрации наносов. Наименьшее значение (менее 0.5 т/(км²·год)) приходится на частично закарстованный водосбор реки Луги. Для остальных шести исследуемых водотоков годовой модуль твердого стока находится в пределах 3.2

– 6.5 т/(км²·год), что в целом характерно для рек этого региона [3].

Внутригодовое распределение

Распределение стока наносов в течение года определяется режимом стока рек. Максимальные значения месячных модулей твердого стока всех исследуемых водотоков приходятся на половодье в марте – мае, как правило, достигая пика в апреле, что характерно для северо-западного региона. Причем, прохождение максимумов для северных рек (Паша, Оять и Тихвинка) в основном приходятся на апрель – май; для рек, протекающих в южной части региона, – на март – апрель. Минимальные значения годового модуля стока в меженный период крайне незначительны, особенно зимой, и для отдельных лет близки нулю. Представленные на рис. 1 диаграммы хорошо иллюстрируют значительную асимметрию месячных значений модуля в сторону больших значений. Для всех расчетных гидрометрических створов, кроме р. Тихвинка – д. Горелуха, наиболее выраженная асимметрия приходится на месяцы с повышенным стоком наносов. Для створа р. Тихвинка – д. Горелуха большие диапазоны исследуемой величины наблюдаются в течение всего года. Бассейн р. Тихвинка, расположенный в северной части Валдайской возвышенности, представлен сложноразмываемыми тяжелосуглинистами разновидностями почв [4], и основная доля наносов формируется в результате русловой эрозии. Это объясняет относительно равномерную интенсивность последней в течение года.

Многолетняя изменчивость

В настоящее время выделяются 30-летние климатические периоды, называемые Климатологическими базовыми нормами ВМО [5]. Исторический базовый климатический период представлен 1961 – 1990 годами. Этот период служит основой для долгосрочной оценки изменения климата. Текущий базовый климатический период представлен 1991 – 2020 годами [5]. Для годового слоя осадков средние значения за

указанные периоды составят соответственно 645 мм/год и 667 мм/год, для среднегодовой температуры воздуха – 5 °С и 6.2 °С. Годовой слой осадков по отношению к прошлому климатическому периоду увеличился в среднем на 3.4 %, среднегодовая температура воздуха – на 24 %.

Слои стока и среднегодовые модули твердого стока для створов Тихвинка – д. Горелуха, Пола – д. Налочи, Полисть – д. Утушкино, Луга – г. Луга и Пскова – д. Черняковицы за первый климатический период репрезентативными считаться не могут, т.к. в расчеты не был включен продолжительный маловодный период до 1974 года. Для р. Мста – д. Девкино с 1961 по 1971 годы наблюдения за расходом наносов также не проводились. Для оставшихся трех гидрометрических створов годовые слои речного стока во втором климатическом периоде увеличились, что составило по отношению к первому климатическому периоду 10 % (реки Паша и Ловать) и 26 % (р. Оять). При этом значения годового модуля твердого стока в среднем для этих водотоков уменьшились на 36 %.

На уменьшение твердого стока при увеличении водности во втором климатическом периоде повлияло ослабление сельскохозяйственной деятельности на водосборах изучаемых рек, связанное с социально-экономическими изменениями в регионе. Сокращение пахотных земель на начало второго периода составило от 11 до 60 % в зависимости от административного округа [6]. Однако немаловажен вклад и природных факторов, в частности изменения внутригодового распределения стокоопределяющих метеорологических величин. Теплые зимы приводят к купированию больших расходов воды и перераспределению таковых в течение более продолжительных периодов. При этом, принципиальное увеличение осадков в регионе (на 35 % в мае для второго климатического периода) на начало вегетационного периода могло привести к более интенсивным процессам почвенной эрозии.

Анализ результатов. Внутригодовое распределение твердого стока исследуемых водотоков характеризуется

крайне небольшими значениями для меженного периода и многократно превышающими их значениями твердого стока в период большой воды. Последнее вполне объяснимо существенным вкладом в формирование твердого стока водотоков почвенной эрозии, наиболее интенсивные процессы которой приходится на период активного снеготаяния и паводков.

Устойчивое повышение температуры воздуха и слоев осадков для Северо-Запада РФ в последнее тридцатилетие в сравнении с прошлым климатическим периодом привело к увеличению водности рек. При этом согласно данным наблюдений для выделенных климатических периодов имеет место уменьшение годового твердого стока. Последнее можно объяснить социально-экономическими изменениями – существенным уменьшением сельскохозяйственной деятельности в регионе. Также уменьшение твердого стока рек с учетом увеличения водности последних может быть вызвано перераспределением внутригодового хода метеорологических величин, произошедшем в результате климатических изменений.

Таким образом, изменение стока наносов может определяться тремя основными факторами – уменьшением сельскохозяйственной активности в регионе, увеличением водности рек и перераспределением речного стока в течение года. При этом следует принять во внимание то, что увеличение водности рек в последнем климатическом периоде является компенсирующим фактором по отношению к уменьшению аграрной освоенности земель для формирования стока наносов. С другой стороны, перераспределение стока в течение года и заметный рост температуры воздуха в зимний период также могут привести к уменьшению интенсивности почвенной эрозии (нивелирование пиков весеннего половодья уменьшает эрозионную активность склоновых микроручейковых потоков).

Выводы. В результате данного исследования относительно продолжительных рядов наблюдений за твердым сто-

ком трех водотоков Северо-Запада РФ было выявлено уменьшение стока наносов изучаемых рек на фоне общего увеличения водности последних. При этом, второй рассматриваемый климатический период (1991-2019 гг.) характеризуется уменьшением площади сельскохозяйственно освоенных земель на водосборах исследуемых рек и перераспределением речного стока внутри года. Все указанные факторы оказывают разнонаправленное влияние на процессы формирования твердого стока на водосборе и в речной сети, при этом вклад каждого из этих факторов различен. По всем признакам, наибольший вклад в изменение стока наносов приносит уменьшение сельскохозяйственной активности совместно с общим повышением температуры в зимний период.

Работа выполнена при финансовом обеспечении за счет средств федерального бюджета в рамках темы № 0154-2019-0001 “Комплексная оценка динамики экосистем Ладозжского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов”.

Литература

1. Алексеевский Н. И. Формирование и движение речных наносов. М.: МГУ, 1998. 201 с.
2. Walling Des. E. The changing sediment loads of the world's rivers. Warsaw Univ. of Life Sci. – SGGW, Land Reclam. 39, 2008, 3–20. DOI: 10.2478/v10060-008-0001-x
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Карелия и Северо-Запад, том 2, часть 1. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 528 с.
4. Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна реки Нева. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна реки Нева Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. г. Санкт-Петербург, 2010 г. 189 с.
5. Новый двухуровневый подход к «климатическим нормам» // Гидрометцентр России. [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-г.> (дата обращения: 03.02.2020).

6. Апарин Б.Ф., Матинян Н.Н. Ландшафтная структура Северо-Запада России и типология сельскохозяйственных земель // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Вып. 2. 2005. С. 132 – 141.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС GISMETEO.HYDRO КАК ИНСТРУМЕНТ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОКА В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ХОЗЯЙСТВА

Ясинский Н.С.¹, Гриненко М.А.¹, Васильева Е.А.¹
¹НПЦ «Мэп Мейкер», Москва, РФ

GISMETEO.HYDRO SOFTWARE PACKAGE AS A TOOL FOR REAL-TIME STREAMFLOW PREDICTION ACROSS DIFFERENT INDUSTRIES

N. Yasinskiy¹, M. Grinenko¹, E. Vasilieva¹
¹Mapmakers Group LLC, Moscow, Russia

В последние годы интерес к системам раннего предупреждения наводнений в нашей стране возрос в связи с увеличением непредсказуемости опасных гидрологических явлений. В докладе приведен обзор новейшего программного комплекса, созданного для оперативной обработки гидрологических данных и расчета ежедневных расходов воды рек в различных фазах водного режима. Обсуждаются возможности применения Комплекса в работе гидрологических подразделений в различных отраслях.

In recent years, interest in flood early warning systems in Russia has grown due to the increasing unpredictability of dangerous hydrological phenomena. The report provides an overview of the latest software package created for the real-time hydrological data processing and calculation of daily river discharge in various phases of water regime. The possibilities of using this software in the workflow of hydrological departments across different industries are discussed.

Введение

Программный комплекс GISMETEO.HYDRO представляет собой автоматизированное рабочее место гидролога-прогнозиста, решающее задачи мониторинга состояния рек и водохранилищ, систематизации данных гидрологических наблюдений, ведения гидрологических журналов, оперативных расчетов расходов воды и притока в водохранилище, предоставления консультаций и справок о режиме водных объектов для различных отраслей хозяйства.

Необходимость нового подхода и полной переработки АРМ гидролога, поставляемого в составе программного комплекса ГИС Метео, была продиктована совершенствованием способов получения информации, технологического обновления постов Росгидромета и появлению новых подходов к расчету оперативных расходов.

Методология расчетов и алгоритмы Комплекса

Комплекс представляет собой автоматизированное рабочее место, включающее систему серверных приложений и баз данных для получения и обработки оперативной информации и настольное приложение для просмотра данных и управления расчётами.

Оформление интерфейса Комплекса и общие подходы к расчетам опираются на соответствующие выпуски Наставлений гидрометеорологическим станциям и постам [1–3]. Подавляющая часть расчетных методов основана на новых рекомендациях ГГИ [4]. Обработка данных телеграмм следует кодам КН-01 и КН-15 [5,6].

Работа с программой начинается созданием рабочего списка постов, для которых устанавливаются зависимые метеостанции. Гидрологические и метеорологические данные для выбранного поста отображаются на адаптивном комплексном графике и в виде таблиц ежедневных наблюдений и измеренных расходов (Рис. 1). Данные можно просматривать и по одному сроку для всего списка постов, а также в форме графика сопряженных постов.

В Комплексе реализован редактор для создания и анализа кривых $Q = f(H)$ (Рис. 2 – слева). По историческим наблюдениям, находящимся в базе данных Комплекса кривая может быть построена как методами математической аппроксимации, включая метод Глушкова $Q(H) = a(H - H_0)^b$, полиномиальную аппроксимацию и кусочно-полиномиальную аппроксимацию $Q = a_0 + a_1H + a_1H^2 + \dots + a_mH^m$, так и вручную с помощью инструмента рисования. Кривые, создаваемые любым методом добавляются в общий список и могут быть откорректированы вручную или экстраполированы вверх или вниз. Методы экстраполяции и аппроксимации описаны подробно в работах И. Ф. Карасева и Т. И. Яковлевой [7,8].

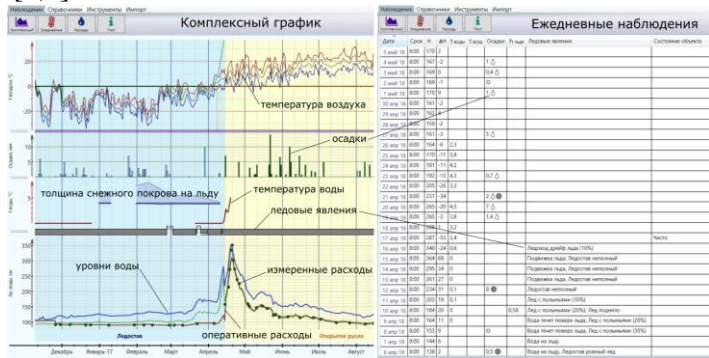


Рисунок 4. Комплексный график и таблица ежедневных наблюдений в интерфейсе Комплекса для р. Урал, п. Кизильское.

Задача оперативного расчета стока сводится к определению расхода воды по уровню, измеренному на гидрологическом посту. Кривая связи расходов и уровней может быть однозначной, то есть значение отклонения измеренного расхода от кривой не выходит за рамки доверительного интервала среднеквадратического значения рассеяния многолетней связи, в этом случае оперативный расход определяется по самой кривой, а новые измеренные расходы служат для кон-

троля её однозначности. В случае, если кривая неоднозначна, требуется рассчитать поправку на расход, рассчитанный по кривой, которая зависит от фазы водного режима. Алгоритм автоматической разбивки исторических данных на расчетные фазы водного режима на основании состояния водного объекта и наблюдаемых на посту показателей был разработан авторами доклада.

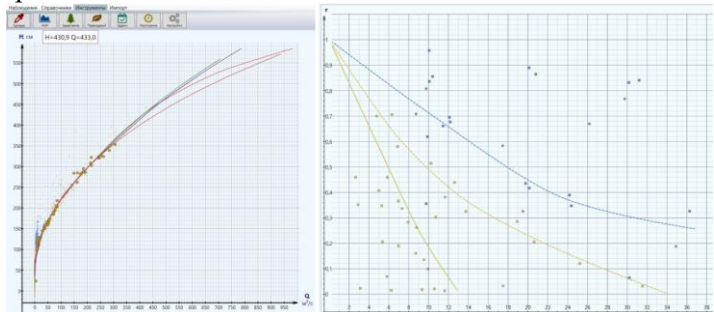


Рисунок 5. Кривые связи расходов-уровней р. Урал, п. Кизильское (слева) и графики автокорреляционных функций р. Тобол, с. Звериноголовское (справа) в интерфейсе Комплекса.

Основным методом расчета поправки, используемым во время ледостава и открытого русла служит оптимальная экстраполяция [9,10]. Суть его заключается в расчете поправки по двум или нескольким предыдущим измеренным расходам с присвоением каждому весов, которые зависят от поведения автокорреляционной функции (АКФ) измеренных расходов во времени:

$$\tilde{q}_t = \sum_{i=1}^l p_i \tilde{q}_i + (1 - \sum_{i=1}^l p_i) m_{\tilde{q}}$$

Здесь p – вес Построение автокорреляционных функций (Рис. 2 – справа) производится отдельно для ледостава и открытого русла с учетом водности года. Мы использовали ручной способ построения, так как зачастую множества точек не позволяют однозначно задать линию связи методом наименьших квадратов. Перестроение АКФ имеет смысл производить од-

новременно с проверкой кривых расход-уровень для текущего года.

В переходные весенний и осенний периоды, когда отклонение от кривой расходов-уровней возникает при увеличении шероховатости русла в период ледовых явлений, ранее в гидрологической практике применялись Кзим [3], вычисляемые как отклонение измеренных расходов от расходов по кривой и наносимые на комплексный график. Используемый в Комплексе метод ГТИ основан на накоплении соответственно положительных или отрицательных температур воздуха (Θ), определяющих замерзание или стаивание ледяных образований.

$$\tilde{q}_в = \tilde{q}_{вн} + a_в (\sum_1^T \theta_i)$$

Где $q_{вн}$ – отклонение от кривой последнего расхода измеренного в предшествующую фазу водного режима. В осенний период используется модуль суммы температур под корнем.

В осенний переходный период расход воды также может напрямую определяться по формуле Буссинеска, основанной на линеаризованном решении уравнения фильтрации подземных вод [11]. Как указывается в исследованиях ГТИ, используемая в формуле константа истощения α_0 малоизменчива для различных водосборов [12] и может быть получена обратным пересчетом по данным прошлых лет:

$$Q = \frac{Q_0}{(1 + \alpha_0 T)^2}$$

Q_0 – опорный расход, измеренный при свободном русле, T – период времени от начала ледовых явлений до момента расчета.

В периоды зарастания русла вместо использовавшегося ранее коэффициента Кзар [3] рекомендуется применять оптимальную экстраполяцию, как описано выше или, в случае если отклонения измеренных расходов от кривой расход-уровень выстраиваются хронологически в виде депрессии, используя АКФ косинусоидального вида (Рис. 3).

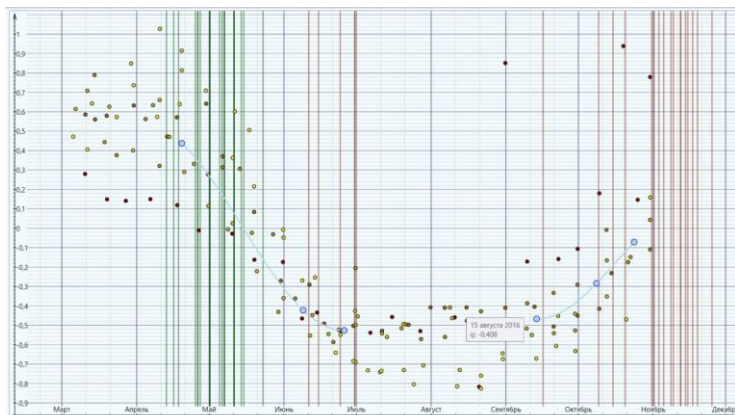


Рисунок 6. Построенные с помощью редактора Комплекса ветви изменения отклонений расходов для периодов нарастания и отмирания растительности в русле р. Лесная, с. Замосты.

В разработке Комплекса нами был предложен способ ручного построения графиков отклонений для периода зарастания с последующим автоматическим расчетом АКФ. Может быть построен как единый график для всего периода, так и отдельные ветви для нарастания и отмирания растительности.

В инструментарии Комплекса присутствует возможность прогноза притока воды в водохранилище в соответствии с формулой притока. Формула задается в форме таблицы для поста-водохранилища (нижнего бьефа). В каждой строке таблицы указывается пост притока и параметры k , τ – ордината кривой добегаания и её порядковый номер для данного поста в сутках [13]. Расчет производится с заданной дискретностью и за заданный промежуток времени к настоящему моменту. При этом в промежуток времени ранее последнего измеренного расхода используются ежедневные расходы воды, а позднее – оперативные расходы воды, определённые методом, соответствующим фазе водного режима на данном притоке. В случае, если в базу данных поступает измеренный

расход, относящийся к предшествующему периоду, приток уточняется (пересчитывается за заданный промежуток времени к настоящему моменту).

Практическое применение Комплекса и его актуальность

Используемые в работе Комплекса данные поступают из оперативных источников и после контроля наполняют базу данных. Исторические данные могут быть импортированы из файлов программы РЕКИ-РЕЖИМ. Это касается ежедневных наблюдений, измеренных расходов, паспортов постов и координат кривых расход-уровень. Табличные и графические материалы, выводимые в интерфейс Комплекса могут быть экспортированы в файл PDF или распечатаны.

Процесс работы с программой основан на формировании списка задач, среди которых есть задачи, выполняемые по расписанию, например, ежедневный расчет оперативного расхода, есть периодически выполняемые однократно, такие как расчет автокорреляции и другие вспомогательные предварительные расчеты. Наконец, третий тип задач – действия, выполняемые пользователем вручную, например, исправление данных в базе.

Так как расход воды – более устойчивая величина по длине реки по сравнению с уровнем и не зависит от морфометрии створа, то по расходу возможно делать прогноз на другие створы, оценивать изменения водного режима, что необходимо для предупреждения наводнений и других опасных явлений связанных с реками и водохранилищами. В самом деле, по расходу воды, полученному сейчас в условной точке, можно довольно точно узнать расход в любой точке ниже по течению, успеть оповестить население и тем самым уменьшить последствия наводнения, которое наступит ниже по течению иногда на несколько часов или даже суток позже. Это применение Комплекса особенно актуально в работе бассейновых водных управлений и МЧС.

Расходы нужны и для тех отраслей, которым важно количество притока воды: электроэнергетика, рыбное хозяйство, орошение. При работе водохранилищ обычно опираются на диспетчерские графики сброса. Расчет притока воды в водохранилище позволяет оперативно управлять сбросами в нижний бьеф. Знание оперативных расходов в водоснабжении и водоотведении позволяет правильно управлять режимом водозабора и сброса при низкой водности реки, избегая бедствий связанных с недостатком воды или химическим загрязнением. Разумеется, использование Комплекса актуально в отделах гидрологии УГМС и других подразделений Росгидромета.

Российская наблюдательная сеть развивается и, наряду с существующими гидрологическими постами, в эксплуатацию вводятся автоматизированные измерения. Использование автоматических датчиков позволяет проводить измерения каждые 10 минут, что повышает качество и детальность гидрологической информации. Комплекс легко усваивает частые измерения, позволяя получить расчеты и графические отчетные материалы, к которым до сих пор мы не имели доступа.

Заключение

Программный комплекс GISMETEO.HYDRO автоматизирует получение и обработку гидрологических данных, усваивает и систематизирует их, отображает, производит оперативные расчеты на их основе и создает отчетные материалы. Новые подходы, реализованные в Комплексе соответствуют новейшим нормативам по оперативному учету стока и позволяют полностью автоматизировать работу гидролога.

Комплекс прошел испытания в ГГИ и получил положительное заключение с рекомендацией к использованию в оперативно-производственных подразделениях, осуществляющих оперативную обработку гидрологической информации. В настоящее время Комплекс совершенствуется, тестируется в различных управлениях Росгидромета. Планируется интеграция работы Комплекса с компонентой для прогнози-

рования расходов воды с использованием полей метеорологических моделей [14] и реализации веб-версии Комплекса.

Литература

1. Наставление гидрологическим станциям и постам. Вып. 6, Часть III. Составление и подготовка к печати гидрологического ежегодника. / под ред. Уханов В.В., Проскуряков А.В. Ленинград: Гидрометеиздат, 1958. 291 с.
2. Наставление гидрологическим станциям и постам. Вып. 2, Часть II. Гидрологические наблюдения на постах. / под ред. Потапова О.Н. Ленинград: Гидрометеиздат, 1975. 264 с.
3. Наставление гидрологическим станциям и постам. Вып. 6, Часть I. Гидрологические наблюдения на больших и средних реках. / под ред. Потапова О.Н. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 384 с.
4. Р 52.08.872-2018. Оперативный учет стока на водотоках. Методы обработки наблюдений за уровнями и расходами воды. Санкт-Петербург: ФГБУ «ГГИ», 2018. 107 с.
5. Код для передачи данных гидрологических наблюдений на реках, озерах и водохранилищах (КН-15). Ленинград: Гидрометеиздат, 1987. 36 с.
6. Код для оперативной передачи данных приземных метеорологических наблюдений с сети станций Росгидромета (КН-01 SYNOP). Москва, 2013. С. 79.
7. Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 310 с.
8. Яковлева Т.И. Усовершенствование и адаптация моделей гидрометрического учета стока при неоднозначных зависимостях расходов от уровней воды. // Сборник работ по гидрологии ГГИ. 2003. № 26. С. 58–69.
9. Карасев И.Ф., Яковлева Т.И. Экстраполяционно-аналитический метод оперативного учета стока рек с неустойчивым руслом (на примере р. Амударьи) // Труды ГГИ. Вып. 325. 1988. С. 19–30.
10. Гандин Л.С., Каган Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 360 с.
11. Методические рекомендации по учету стока на реках в

- зимний и переходный периоды. Л.: ГГИ, 1980. 80 с.
12. Пономарев В.П. Подземное питание горных рек юга Дальнего Востока // Труды ГГИ. Вып. 272. 1979. С. 161–203.
 13. Нежиховский Р.И. Гидрологические расчёты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 191 с.
 14. 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 // Труды IV Всероссийской конференции ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ/МГО 2020. Санкт-Петербург, 2020. С. 439–444.

О СОСТОЯНИИ ГИДРОМИНЕРАЛЬНОЙ БАЗЫ КУ-
РОРТОВ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД В
НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

А.Д. Яснопольская, А.Д. Маховиков, Р.Е. Смагин

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-
Петербург, Россия

Кавказские Минеральные Воды – уникальный район РФ по разнообразию месторождений минеральных вод, представленных источниками различного гидрохимического состава. На основе использования в питьевом и бальнеологическом лечении различных типов вод функционируют специализированные курорты: Кисловодск, Ессентуки, Пятигорск, Железноводск.

ON THE STATE OF THE HYDROMINERAL BASE OF
THE CAUCASIAN MINERAL WATERS RESORTS AT
THE BEGINNING OF THE XXI CENTURY

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

Caucasian Mineral Waters is a unique region of the Russian Federation in terms of the variety of mineral water deposits, represented by sources of different hydrochemical composition. On the basis of the use of various types of waters in drinking and balneological treatment, there are specialized

resort towns: Kislovodsk, Essentuki, Pyatigorsk, Zheleznovodsk.

В настоящее время уникальный комплекс месторождений региона Кавказских Минеральных Вод рассматривается как целостная геолого-гидрологическая система, состоящая из надземной и подземной подсистем. Для всего региона характерна сложность геологического строения и гидрогеологических условий в виде резкой изменчивости распространения в плане и разрезе коллекторов трещиноватых зон в породах различного генезиса. В регионе КМВ сосредоточены 14 основных месторождений минеральных вод различных типов (Табл.1) (Кисловодское, Ессентукское, Железноводское и др.) в пределах Ставропольского края, а также Кумское и Верхнеподкумское в пределах Карачаево-Черкесской Республики с общими эксплуатационными запасами, утверждёнными Государственной Комиссией по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) в количестве 15,6 тыс. м³/сутки. Из них 8,2 тыс. м³/сутки (52%) могут использоваться для лечебного питья и розлива и 7,4 тыс. м³/сутки (48%) — для бальнеолечения. В границах Ставропольского края запасы утверждены в размере 13,7 тыс. м³/сутки, в границах Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) – 1,9 тыс. м³/сутки [3]. По другим сведениям [4] (состояние на 01.01.2018г.), на территории КМВ разведаны и оценены запасы 20 месторождений минеральных вод в количестве 17,56 тыс. м³/сут. Добыча составляет 2,8–3,0 тыс. м³/сут, т.е. освоение запасов в среднем по КМВ не превышает 20%. В то же время степень освоения запасов отдельных месторождений существенно различается. Точно оценить ежедневную скрытую разгрузку не представляется возможным из-за весьма сложных гидрогеологических усло-

вий формирования и разгрузки подземных вод. Ориентировочно она может составлять не менее 13 тыс. м³/сутки.

Таблица 1. Эксплуатационные запасы основных гидроминеральных месторождений региона КМВ, по [1, 3].

Месторождение	Эксплуатационные запасы, в м ³ /сутки	Тип вод
Кисловодское	1535	Углекислые
Подкумское, Берёзовское и Ольховское	480	Углекислые
Верхнеподкумское и Кумское	Более 1900	Углекислые
Ессентукское	690	Углекислые, углекисло-сероводородные
Бештаугорское	490	Углекислые
Бештаугорское	306	Радоновые
Пятигорское	1740	Углекисло-сероводородные
Пятигорское	763	Воды других групп (углекислые, солянощелочные, радоновые, азотно-углекислые)
Железноводское	Около 2000	Углекислые

Нагутское	3024	Углекислые
Кумагорское	260	Сульфидные (сероводородные)
Баталинское	2-5	Сульфатные (горько-солёные)
Лысогорское	1071	Воды разных групп (сульфатно-хлоридные, кремнистые и др.)
Змейкинское	310	Углекислые

По ряду причин, с 1980-х годов в полном объёме так и не была проведена переоценка эксплуатационных запасов месторождений минеральных вод, в том числе по их отдельным участкам. Частично, работы по оценке ресурсного потенциала подземных вод региона КМВ были выполнены в середине 2000-х годов. Прогнозные ресурсы минеральных вод были оценены в объёме дебита 110 тыс. м³/сутки. Однако, эти перспективы связывались, во-первых, исключительно с неосвоенными площадями (например, территории, прилегающие к Нагутскому месторождению), во-вторых, для случая неувеличения (и даже сокращения) антропогенной нагрузки на ландшафты КМВ, в-третьих, в предположении, что гидрогеологические условия останутся стабильными. Доступность ресурсов, простота технологии промышленного розлива, новые рыночные условия, а также снижение использования воды в лечебных целях (ванны) повлияли на рост добычи минеральной воды для целей коммерческого назначения, с 134612 м³/год (1989г.) до 380396 м³/год (2007г.) [5].

По сравнению с временами СССР (80-е годы), нынешняя добыча воды для промышленного розлива превышает советскую примерно в 2,5 раза. В то же время, например, добытая минеральная вода для бальнеолечения в объёме 524 тыс. м³ (2008г.) оказывается меньше рекомендуемых Мин-

здоровом РФ нормативов потребления (в пересчёте на количество лечащихся). Однако количество курортников по сравнению с тем периодом уменьшилось не более чем в 2 раза. Поэтому совершенно понятно, что сегодня лечащиеся недополучают бальнеологические процедуры. Уровень использования минеральных вод для бальнеолечения в настоящее время составляет менее $\frac{1}{4}$ части от объёма, добытого на эти цели в конце восьмидесятых годов.

Наиболее эффективно используемые участки месторождений минеральных вод -Змейкинское, Новоблагодарненский и Центральный участки Эссентукского месторождения, Центральный и Развалкинский участки Железноводского месторождения. На них выбирается от 50 до 100% имеющихся запасов. Имеются значительные резервы Пятигорского, Георгиевского (Лысогорского) месторождений, процент использования которых – всего 3-10% от утверждённых запасов. Несомненное лидерство по перспективам освоения и развития остаётся за Нагутским месторождением. Неоднозначная ситуация наблюдается на месторождениях Карачаево-Черкесии, где добыча минеральной воды ведётся в незначительных объёмах – например, за весь 2008г. здесь добыто всего 200 м³. Верхнеподкумское месторождение и Северный участок Кумского месторождения находятся в нераспределённом фонде недр.

Исходя из имеющейся статистики потребления минеральных вод и объёмов утверждённых запасов, регион Кавказских Минеральных Вод обладает в целом хорошими возможностями для наращивания курортной базы. Однако на практике могут возникнуть серьёзные сложности, связанные с неподтверждением запасов как следствие негативных тенденций, связанных с разобщённостью системы эксплуатации и наблюдений при недостаточно полном объёме работ по государственному мониторингу недр. В некоторых скважинах уже отмечается ухудшение состояния подземных вод по та-

ким показателям качества как минерализация, содержание углекислоты и несоответствие их установленным для данных типов минеральных вод кондициям. Несмотря на то, что истощения и деградации водной составляющей питания основных месторождений минеральных вод пока не отмечается, ресурсы кондиционных минеральных вод ограничены, особенно наиболее востребованных (таких как Ессентуки-4, Ессентуки-17, Нарзан). Поэтому объём добычи должен соответствовать требованиям ГКЗ РФ и не превышать оптимальной нагрузки на водоносные горизонты.

Для сохранения и воспроизводства запасов минеральных вод необходимо соблюдать хотя бы два правила: 1) не нарушать режим добычи (не брать больше, чем производит природа) и 2) не загрязнять территорию их формирования (зоны питания источников) отходами неуправляемой хозяйственной деятельности. Системный анализ имеющихся гидрогеологических материалов даёт вывод, что ресурсный потенциал углекислых минеральных вод Кавминвод практически оценён и прирост их запасов в большом количестве маловероятен. К тому же, состояние поверхностных и подземных вод на курортах Кавминвод, особенно верхней гидродинамической зоны, весьма неблагоприятно. Анализ данных многолетнего экологического мониторинга позволяет утверждать, что ситуация с водными ресурсами в городах-курортах КМВ критическая [2].

Результаты мониторинга подземных вод на участках недропользования и опорной наблюдательной сети государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) указывают, что наблюдаемые отклонения показателей качества связаны не с истощением запасов, а вероятнее всего, с превышением допустимой величины добычи минеральных вод на отдельных участках и техническим состоянием эксплуатационных скважин, пробуренных несколько десятков лет назад. Государственная режимная сеть создавалась во многом при под-

держке Администрации КМВ. Толчком для создания такой сети было распоряжение от 28.12.1998г. (№85) «О разработке и утверждении программы реконструкции и развития региональной режимной наблюдательной сети на подземные минеральные воды». Регулярные наблюдения за состоянием подземных вод, выполняемые филиалом ФГБУ «Гидроспецгеология» Южный региональный центр ГМСН, на территории КМВ ведутся с 1999г. Основными источниками информации для оценки состояния минеральных подземных вод являются результаты собственных наблюдений на сети скважин и результаты наблюдений за состоянием подземных вод на участках недропользования (результаты объектного мониторинга), в том числе с использованием данных статистической отчётности недропользователей. Однако, анализ представляемых в отчётах результатов ведения объектного мониторинга вызывает сомнение в их полноте и достоверности, что существенно затрудняет оценку изменения состояния подземных вод на отдельных скважинах [4].

Например, ОАО «Нарзан» пробурены эксплуатационные скважины №107 и 107-д в результате чего серьёзно изменились гидрохимические свойства углекислых вод. Анализ данных по наблюдательным и эксплуатационным скважинам указывает, что ситуацию в районе Кисловодского месторождения следует рассматривать как близкую к критической (для воды валанджинских подгоризонтов характерно повсеместное падение общей минерализации и уменьшение концентрации CO_2) [2]. При проведении внеплановых проверок в 2021г. специалисты Росприроднадзора обнаружили, что 24 недропользователя, которые имеют 33 лицензии на право пользования источниками минеральной воды, допустили около 700 нарушений. По данным ведомства, на Кавминводах эти компании забирают минеральную воду из 225 скважин. При этом, имеются серьёзные нарушения при эксплуатации Кисловодского, Пятигорского, Ессентукского месторождений

(загрязнены источники «Нарзан», «Радиоштольня-2»), а ранее уже были потеряны источники «Ессентуки-20», «Газо-Пономарёвский» и ряд других.

В целом, гидроминеральная база КМВ сегодня находится в кризисном состоянии. Хотя на Кавминводах производятся работы по ремонту и ликвидации аварийных скважин (поисково-разведочных, структурно-геологических и др.), за последние 25 лет количество наблюдательных скважин уменьшилось более чем в 2 раза (с 45 до 19). В связи с разобщённостью системы эксплуатации и наблюдений, а также при слабой системе государственного контроля за охраной недр, неподтверждение запасов минеральных вод вполне реально. Необходимы срочные решения, восстанавливающие единство гидроминеральной базы, защищающие и обеспечивающие сохранение ценнейших ресурсов в интересах курортного будущего Кавказских Минеральных Вод.

Литература

1. Кавказские Минеральные Воды: к двухсотлетию 1903 – 2003гг. Т. 2. Пятигорск: Вестник Кавказа, 2003. 400 с.
2. Помеляйко И.С., Малков А.В. Проблемы качества поверхностных и подземных вод курортов региона Кавказских Минеральных Вод и пути их решения. Водные ресурсы, 2019, том 46, № 2, С. 178 –190
3. Санкин А.В. Гидроминеральная база КМВ: современное состояние и проблемы использования. В колл. монографии Экология Кавказских Минеральных Вод: системный анализ и концептуальные подходы. СПб-Пятигорск: Изд-во ПФ СКФУ, 2016. С.133 – 141
4. Спектор С.В., Королев И.Б., Терещенко Л.А., Арутюнова С.В., Стародубова Ю.П. Оценка состояния минеральных подземных вод региона Кавказские Минеральные Воды

- (по данным государственного мониторинга состояния недр). Разведка и охрана недр. №11, 2018, С. 47 –53
5. Шебзухова Т.А. Вопросы экологической безопасности в аспекте реализации стратегических интересов курортного субрегиона. В колл. монографии Экология Кавказских Минеральных Вод: системный анализ и концептуальные подходы. СПб-Пятигорск: Изд-во ПФ СКФУ, 2016. С.79 – 85.

СОДЕРЖАНИЕ

Агафонова С.А. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА РЕКАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ.....	3
Бабкин А.В. АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОКА РЕКИ ИРТЫШ В СТВОРЕ УСТЬ-КАМЕНОГОРСКОЙ ГЭС.....	11
Акселевич В.И. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С РЕАЛЬНОЙ КАРТИНОЙ НАБЛЮДАВШИХСЯ ПОЖАРОВ.....	19
Борзенкова И.И. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ И ПРОШЛЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ.....	31
Власов В.К. РЕЖИМ ПУЛЬСАЦИЙ СКОРОСТИ ПОТОКА И ТРАНСПОРТА НАНОСОВ В ПЕРИОД ПОЛОВОДЬЯ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	42
Второва А.И. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В ВЕРХОВЬЕ РЕКИ ТЕЧА.....	50

Вуглинский В.С. МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЕЙ ВОДЫ ВОДОЕМОВ СУШИ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР И ВОДОХРАНИЛИЩ РОССИИ.....	65
Гавриков С.А. ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ И ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ВОДЫ РЕК И ВОДОЕМОВ.....	73
Гайдукова Е.В. ФРАКТАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА В МЕТОДАХ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	80
Горбаренко А.В. ТИПИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ВОДНОГО РЕЖИМА РЕК ЕТР НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ.....	90
Горчаков В.А. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕЖГОДОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ.....	98
Дымент Л.Н. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИИ РАЗРЫВОВ, ЗОН СЖАТИЯ И РАЗРЕЖЕНИЯ В ЛЕДЯНОМ ПОКРОВЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ АНАЛОГОВ.....	108
Ефимова М. А. НАИВЫСШИЕ УРОВНИ ВОДЫ РЕК ВОЛГИ И ОКИ В УЗЛЕ ИХ СЛИЯНИЯ.....	117
Тюряков А.Б. УЧАСТИВШИЕСЯ СЛУЧАИ ПОЛНОГО ОЧИЩЕНИЯ ОТО ЛЬДОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ, КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ПОТЕП-	

ЛЕНИЯ КЛИМАТА В ЗАПАДНОМ РАЙОНЕ АРКТИКИ.....125

Елкин Д.Н. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОБРАЗОВАНИЯ СУБМЕЗОМАСШТАБНЫХ ВИХРЕЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ МЕТОДОМ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....135

Замолодчиков Д.Г. ПРОГНОЗ РОСТА ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ПРОСТОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....145

Зацепин А.Г. ТОНКАЯ СТРУКТУРА ВОД ЧЕРНОГО МОРЯ, ЕЕ СВЯЗЬ С ТЕРМОХАЛИННЫМИ АНОМАЛИЯМИ И ФРОНТАМИ И ВЕРТИКАЛЬНЫМ ТУРБУЛЕНТНЫМ ОБМЕНОМ.....154

Иванов В.В. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ПРИЗНАКИ В ДИНАМИКЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЧЕЛОВЕКА, РЕГИСТРИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ АРКТИКИ, АНТАРКТИКИ И НА ШИРОТЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА.....159

Иманов Ф.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА РЕКИ АЛИДЖАНЧАЙ.....169

Клименко Д.Е. РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ «ПРОФИЛЯ ЛИВНЯ».....184

Колесникова Е.В. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ АЭРОГЕННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДОВ.....	193
Кошкина А.С. ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКОГО И ТЕПЛОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ ВЫСОКИХ ШИРОТ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕАНАЛИЗА.....	201
Куприянова А.Е. ЛАБОРАТОРНОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЯТЕН СОЛЕННОЙ ВОДЫ ПРИ ИХ ПОГРУЖЕНИИ В ПРЕСНОЙ ВОДЕ.....	206
Лебедева Л.С. ИЗМЕНЕНИЯ СРОКОВ ПРОМЕРЗАНИЯ МАЛЫХ И СРЕДНИХ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ.....	217
Лобанов В.А. ВЫЯВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОТЕПЛЕНИЙ АРКТИКИ.....	225
Лосева В.М.ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ ОБЛАСТЯХ ЗА ПЕРИОД 1950-2019 ГГ.....	234
Мазуров Г.И. ПЕРСПЕКТИВЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СУДОХОДСТВА ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ.....	242
Маховиков А.Д. ОПЫТ ЗИМНИХ КОМПЛЕКСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ИХТИОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА МОРСКИМИ ЭКОСИСТЕМАМИ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ.....	251

Ладохина Е.М. СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА НАУКАСТИНГА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСАДКОВ МЕТОДАМИ TRES И DIS.....	260
Михайловский Ю.П. СВЕРХКРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ И ДИАГНОЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КОНВЕКТИВНЫХ ОБЛАКОВ.....	269
Михневич Г.С СУБМАРИННАЯ РАЗГРУЗКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК ИСТОЧНИК ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ БАЛТИКИ).....	278
Морозова С.М. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЁЛТОГО ВЕЩЕСТВА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД В УСТЬЕ Р.КЕРЕТЬ, БЕЛОЕ МОРЕ.....	289
Науменко М.А. КЛИМАТИЧЕСКИЙ СЕЗОННЫЙ ХОД ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ СКАЧКА В ЛАДОЖСКОМ ОЗЕРЕ.....	297
Никитин К.А. ОЦЕНКА ОТЕПЛЯЮЩЕГО ВЛИЯНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ САЛЕХАРДА).....	305
Никитина В.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЕРЦИИ АКТИНОМЕТРА.....	309
Носкова Т.А. УРОВЕНЬ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОД ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА В 2021 Г.....	315
Панютин Н.А.ОЦЕНКА СЕЗОННЫХ КОЛЕБАНИЙ ПЛОЩАДЕЙ УРОВНЕЙ ОЗЕРА НУРГАН.....	326

Педченко А.П. ПОПОЛНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ДАННЫХ О МИКРОПЛАСТИКАХ В РОССИЙСКИХ АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ: МАТЕРИАЛЫ ЭКСПЕДИЦИЙ 2019-2021 ГГ.....	332
Резников С.А. МОНИТОРИНГ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ В РАЙОНАХ СИЛЬНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	344
Серых И.В. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТИХОГО, ИНДИЙСКОГО И АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНОВ С ГЛОБАЛЬНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИЕЙ.....	352
Сушинов А.И. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА.....	361
Сушкова В.А. ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА РЕКАХ ПРИМОРЬЯ.....	367
Третьяков В. Ю. МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАИБОЛЕЕ ЛЁГКИХ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ ПО СЕВЕРНОМУ МОРСКОМУ ПУТИ.....	377
Трунин А.А. ОЦЕНКА ВОДОСБОРОВ РЕК БАССЕЙНОВ КАРСКОГО И ЛАПТЕВЫХ МОРЕЙ С УЧЁТОМ БАЗИСА ЭРОЗИИ.....	386

Федосеева Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВОЙ СЪЕМКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛЯРНЫХ МЕЗОВИХРЕЙ НАД АКВАТОРИЕЙ КАРСКОГО МОРЯ.....
.....391

Чеа С. КЛИМАТ КАМБОДЖИ И ЕГО ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ.....401

Черкашин С.А.ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.....411

Черногаева Г.М. НОВЫЕ МЕТОДЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ВОДНЫМ РЕСУРСАМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ИХ КАЧЕСТВУ.....422

Чижова Ю.Н. ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД ИЗОТОПНЫМ МЕТОДОМ430

Шикломанов А.И. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СЕТОЧНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....439

Шмакова М.В. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ ГОДО-

ВОГО ТВЕРДОГО СТОКА РЕК СЕВЕРО-
ЗАПАДА.....448

Ясинский Н.С. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
GISMETEO.HYDRO КАК ИНСТРУМЕНТ ОПЕРАТИВНО-
ГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТОКА В РАЗЛИЧНЫХ ОТ-
РАСЛЯХ ХОЗЯЙСТВА.....458

Яснопольская А.Д. О СОСТОЯНИИ ГИДРОМИНЕРАЛЬ-
НОЙ БАЗЫ КУРОРТОВ КАВКАЗСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ
ВОД В НАЧАЛЕ ХХІ ВЕКА.....468