



ЛИМНОЛОГИЯ В РОССИИ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ

Санкт-Петербург
12–14 февраля 2024 г.



Российская Академия Наук

Институт озероведения Российской академии наук
(ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН)

Отделение наук о Земле Российской академии наук



Лимнология в России

Тезисы докладов

Всероссийской научной конференции,
посвященной 80-летию Института озероведения
Российской академии наук

г. Санкт-Петербург, 12–14 февраля 2024 г.

УДК 504.064.2

ББК 20.18

С56

Рецензент:

В.И. Замышляев, кандидат технических наук

Ответственные редакторы:

С.А. Кондратьев, А.М. Расулова

Редакционная коллегия:

*С.А. Кондратьев, О.Я. Глибко, Н.В. Игнатьева, Е.А. Курашов,
М.А. Науменко, Т.В. Сапелко*

Тезисы докладов Всероссийской научной конференции "Лимнология в России", посвященной 80-летию Института озераведения Российской академии наук. Санкт-Петербург, 12–14 февраля 2024 г. / Коллектив авторов, РАН. – СПб.: РАН, 2024. – 182 с. <https://doi.org/10.12731/978-5-907645-54-7>

Всероссийская научная конференция «Лимнология в России» проводится в рамках мероприятий, посвященных 300-летию Российской Академии наук. Конференция также приурочена к 80-летию Института озераведения РАН. Современная тематика исследований Института озераведения определила основные направления работы конференции. Это общие проблемы лимнологии и прикладные исследования; гидробиологические и ихтиологические исследования озер; химия воды и донных отложений озер; палеолимнологические исследования; современные изменения климата и гидрологические процессы в крупных озерах; моделирование гидрологических и биогеохимических процессов в озерах.

Сборник тезисов представляет интерес для лимнологов, гидробиологов, гидрохимиков, палеолимнологов, гидрологов и специалистов в области моделирования природных процессов, а также специалистов широкого профиля.

The All-Russian Scientific Conference "Limnology in Russia" is held as part of the events dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. The conference is also timed to the 80th anniversary of the Institute of Limnology RAS. The themes of modern research of the Institute of Limnology determined the main topics of the conference. These are general problems of limnology and applied research; hydrobiological and ichthyological studies of lakes; chemistry of water and bottom sediments of lakes; paleolimnological studies; modern climate change and hydrological processes in large lakes; modeling of hydrological and biogeochemical processes in lakes.

The book of abstracts is of interest to limnologists, hydrobiologists, hydrochemists, paleolimnologists, hydrologists and specialists in modeling of natural processes, as well as to general specialists.

ISBN 978-5-907645-54-7

DOI: 10.12731/978-5-907645-54-7

© Коллектив авторов, 2024

© РАН, 2024

ОБРАЩЕНИЕ КОЛЛЕКТИВА ИНСТИТУТА ОЗЕРОВЕДЕНИЯ РАН К УЧАСТНИКАМ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЛИМНОЛОГИЯ В РОССИИ»

Глубокоуважаемые коллеги!

Институт Озероведения РАН (ИНОЗ РАН) сформировался на базе Лаборатории Озероведения, организованной в 1944 г. по инициативе выдающегося ученого-лимнолога Г.Ю. Верещагина в составе Отделения Геолого-географических наук АН СССР с целью *«разработки теоретических вопросов озероведения – происхождения и истории развития главнейших типов озер, изучения физико-химических процессов в этих водных бассейнах, изучения водного, химического и термического баланса озер, минеральной, энергетической и, растительной и животной сырьевой базы их, влияния озер на климат»*. В 1971 г. Лаборатория была преобразована в Институт озероведения АН СССР. Лабораторию и, позднее, Институт озероведения возглавляли выдающиеся ученые академики АН СССР и РАН – Н.М. Страхов, Д.В. Наливкин, С.В. Калесник, А.Ф. Трешников, В.А. Румянцев, член-корр. О.А. Алекин и д. г. н. Ш.Р. Поздняков. В декабре 2019 г. Приказом Министерства науки и высшего образования Институт озероведения был введен в состав СПб ФИЦ РАН в качестве обособленного структурного подразделения и фактически перестал существовать, как самостоятельная научная организация.

Институт проводил исследования на озерах и водохранилищах практических всех регионов бывшего Советского Союза: Камчатки, Сахалина, Дальнего Востока, Казахстана, Памира, Тянь-Шаня, Урала, Кольского полуострова, Таймыра, Европейской территории России, Армении, Белоруссии, Латвии, Эстонии, Украины, а также Арктики и Антарктики. Совместно с зарубежными специалистами выполнялись научные исследования в Финляндии, Швеции, Турции, Германии, Польше, Болгарии, Венгрии, Эстонии, Чехии, Словакии, Монголии, Канаде, США и др. Институт озероведения РАН располагал научно-методической базой на озере Красном (Карельский перешеек, Ленинградская область), экспедиционными базами на Ладожском озере (поселок Импилахти, Карелия) и Онежском озере (поселок Суйсарь, Карелия), а также научно-исследовательским флотом из 3 судов, из которых дольше всех работало НИС “Талан”. В 1971 г. Институт являлся организатором XVIII Международного Лимнологического Конгресса в Ленинграде. В 80-е годы с приходом в Институт академика К.Я. Кондратьева была создана первая в СССР Лаборатория дистанционного зондирования озер, которая проводила многоуровневые измерения корабль-вертолет(самолет)-спутник. Измерения позволили получить уникальные данные об термогидродинамическом и экологическом состоянии крупных озер.

В последние десятилетия основными направлениями научных исследований института являлись:

- разработка теории эволюции, функционирования, устойчивости и восстановления озер в различных географических зонах;
- разработка теории эвтрофирования внутренних водоемов и научного прогноза сдерживания этого процесса с учетом природно-климатических и антропогенных факторов;
- разработка теории переноса и трансформации веществ и энергии в системе «водосбор-водоем»;
- изучение истории происхождения и развития озер (палеолимнологические исследования). Оценка ископаемых природных ресурсов озерного происхождения;
- оценка природно-ресурсного потенциала озерного фонда Евразии и определение места озерного фонда России, прогноз тенденций его изменения с учетом социально-экономического развития регионов;
- разработка фундаментальных научных основ охраны и рационального использования природных ресурсов озер;
- комплексное изучение Ладожского озера – крупнейшего озера Европы и основного источника водоснабжения Санкт-Петербурга с целью оценки состояния его природных ресурсов, прогноз изменений экосистемы, определения путей ее сохранения и улучшения качества воды;
- развитие методов математического моделирования для прогностических оценок влияния антропогенных факторов, глобальных и региональных климатических изменений на водный режим озер и функционирование озерных экосистем;
- изучение метаболизма водных фотосинтезирующих организмов и практическое применение результатов для борьбы с цианобактериальным «цветением».

Научные исследования ИНОЗ РАН носят комплексный характер: теоретические, экспериментальные (лабораторные и полевые), методические исследования и региональные научно-исследовательские работы по изучению пространственно-временных закономерностей функционирования озерных экосистем и эволюции их под влиянием природных и антропогенных факторов.

Институт озероведения по праву гордится своей славной историей и результатами научных исследований.

Организация и проведение Всероссийской научной конференции, посвященной 80-летию Института озероведения РАН, «Лимнология в России» является знаковым событием в научной жизни России. Выпущенный по итогам конференции сборник отражает достижения в области теоретических и прикладных вопросах лимнологии и смежных с ней дисциплин.

Коллектив Института озероведения РАН выражает особую благодарность Российской академии наук и Санкт-Петербургскому отделению Русского географического общества за организацию и проведение Конференции.

Коллектив Института озероведения РАН

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Роль Института озераведения в становлении лимнологических исследований в Вологодской области

Болотова Н.Л.

Вологодский государственный университет, г. Вологда

e-mail: bolotova.vologda@mail.ru

Анализ изученности озер на территории Вологодской области, начиная с фрагментарных данных XIX века, показывает значимость перехода к экосистемной стратегии для адекватного понимания лимнологических процессов. Этот ключевой этап в 1970-х годах связан с экспедициями Института озераведения АН СССР на крупных озерах Вологодской области. В 1974–1975 гг. были опубликованы материалы комплексных исследований по озерам Кубенскому и Воже. В 1977 г. издана в 3-х частях монография «Озеро Кубенское»: гидрология; гидрохимия, донные отложения, растительные сообщества, зоология. В 1981 г. вышла монография в 2-х частях по озеру Белому: гидрология и гидрохимия, гидробиология и донные отложения. Материалы изучения крупных озер вошли в ряд публикаций и диссертаций, выполненных участниками экспедиций. В настоящее время возрастает значение этих фоновых данных для сравнительного анализа современного состояния озер при антропогенной трансформации. Тем более, что лимнологические процессы изучались с позиций их эволюционирования, ландшафтной обусловленности, взаимодействия «водосбор-озеро», системного подхода при изучении абиотических факторов, структурно-функциональных особенностей трофических уровней и закономерностей эвтрофирования озерных экосистем. Эти плодотворные идеи легли в основу дальнейших направлений лимнологических исследований вологодских коллег, чему способствовало сотрудничество в ходе экспедиций и преемственность в подготовке научных кадров. Так, ихтиологические исследования Кубенского озера были проведены преподавателем каф. зоологии Вологодского пединститута В.Г. Лебедевым, затем защитившим кандидатскую диссертацию. Под руководством зав. каф. зоологии ВГПИ Л.А. Жакова (ранее – научного сотрудника лимнологической станции института Озераведения АН СССР) были обследованы 275 малых озер и вышел сборник «Озерные ресурсы Вологодской области» (1981). Сравнительный анализ ихтиофауны малых озер и оз. Воже вошел в материалы докторской диссертации Л.А. Жакова. Результаты экспедиции использованы для обоснования ландшафтного подхода к лимногенезу малых озер в диссертации зав. каф. географии ВГПИ Г.А. Воробьева. Стала аспиранткой Института озераведения студентка ВГПИ Т.С. Пихтова и под

руководством И.Н. Андрониковой защитила кандидатскую диссертацию по зоопланктону озера Белого. Болотовой Н.Л., аспиранткой Л.А. Жакова, были продолжены исследования малых озер. а затем, в своей докторской диссертации, в основу сравнительного анализа изменения экосистем крупных озер легли материалы экспедиций ИНОЗ. После защиты диссертации в Институте озераведения РАН, Н.Л. Болотова в 2000 г. открыла аспирантуру в Вологодском университете. Это позволяет продолжать лимнологические исследования, результаты которых отражены в серии диссертаций. В последнее десятилетие по инициативе И.А. Мухина (ВоГУ) и Д.С. Дудаковой (ИНОЗ) организуются совместные экспедиции по исследованию шхерных районов Ладожского озера и ежегодно проводится «Ладожский семинар». Вышеперечисленное подчеркивает важнейшую роль Института озераведения РАН в становлении лимнологических исследований в Вологодской области за счет вклада в изучение озер, организации экспедиций, научного руководства, консультирования, преемственности в подготовке научных кадров и совместной научной деятельности.

Методика сбора исходных данных для оценки диффузного сельскохозяйственного загрязнения водных объектов (на примере водосбора Онежского озера)

Брюханов А.Ю.^{1*}, Кондратьев С.А.^{2}, Филатов Н.Н.^{3***},
Васильев Э.В.¹, Обломкова Н.С.^{1****}**

¹ *Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – ФИЛИАЛ ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Санкт-Петербург*

² *Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

³ *Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск*

* e-mail: sznii@yandex.ru

** e-mail: 3718470@gmail.com

*** e-mail: nfilatov@rambler.ru

**** e-mail: oblomkovan@gmail.com

Антропогенное эвтрофирование – одна из важнейших экологических проблем пресноводных водоемов России. Его причиной может быть интенсивная биогенная нагрузка сельскохозяйственного происхождения со стороны водосбора. В нашей стране широкое распространение получил метод (модель) расчета диффузной нагрузки азотом и фосфором на водосбор при ведении сельскохозяйственной деятельности и потенциала ее снижения при использовании наилучших доступных технологий (НДТ) в сельском хозяйстве, разработанный сотрудниками ИАЭП. В условиях ограниченного доступа к детализированной информации о деятельности сельскохозяйственных предприятий существует необходимость в разработке методики сбора данных, необходимых для

выполнения расчетов по этой модели, на основе общедоступных материалов мониторинга и государственной статистики.

Цель данной работы – создание и апробация методики сбора информации для расчета диффузного выноса азота и фосфора с сельскохозяйственных угодий в водные объекты по модели ИАЭП в условиях отсутствия детальных сведений по отдельным сельхоз предприятиям применительно к условиям водосбора Онежского озера.

Разработанная методика позволяет получать комплексную информации о животноводческих сельскохозяйственных объектах с учетом их воздействия на окружающую среду. В основе методики лежит использование пространственного анализа и ГИС-технологий для более точного расчета нагрузки с учетом характеристик сельскохозяйственной деятельности и местоположения объектов относительно водоемов. Это позволяет выполнить комплексный анализ в привязке к пространственным параметрам среды. Методика обеспечивает расчет объема и состава навоза с учетом систем его хранения, переработки и внесения, а также дать оценку параметров миграции биогенных веществ в зависимости от расположения сельскохозяйственных угодий относительно водных объектов. По итогам анализа сельскохозяйственных объектов в ГИС с учетом общедоступных сведений можно определить поголовье животных и птиц, выход навоза и количество навозохранилищ на рассматриваемом предприятии. Это позволяет оценить средние нормы внесения азота и фосфора с органическими удобрениями.

Предложенная методика реализована на территории водосборного бассейна Онежского озера с целью подготовки данных для расчета диффузной нагрузки азота и фосфора в 2010 и 2021 годах. Использование модели формирования сельскохозяйственной биогенной нагрузки ИАЭП позволило оценить фактическое поступление азота и фосфора на водосбор Онежского озера как в 2010 г. (125 тN/год и в 3.9 тP/год), так и в 2021 г. (89 тN/год и 2.9 тP/год). Представленная оценка является подтверждением существенного снижения сельскохозяйственной биогенной нагрузки на изучаемый водосбор за последнее десятилетие.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22-17-00193

Современные исследования озер Беларуси, основные направления и результаты

Власов Б.П.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: vlasov@bsy.by

В истории изучения озер Беларуси, условно можно выделить три этапа, которые различались шириной охвата территории, методическими подходами и материально-техническим обеспечением, детальностью и степенью обобщения получаемых данных.

Первый этап начинается с гидрографического изучения крупнейших озер в конце XIX века, выполненных офицерами генерального штаба России.

Второй этап соответствует периоду формирования комплексной фактологической базы исследования озер Беларуси. К традиционным гидрографическим исследованиям добавились гидрохимические, гидробиологические, геохимические, экологические и палеонтологические исследования. С 1926 г. начато проведение на озерах режимных наблюдений Гидрометеослужбой (Белгидромет), широко проводятся комплексные рыбохозяйственные обследования озер. В 1966 г. в БГУ создана лаборатория озероведения и спорово-пыльцевого анализа на географическом факультете и Проблемная лаборатория экспериментальной биологии на биологическом факультете, выполняющая мониторинговые наблюдения на озерах Нарочь, Мясро и Баторино.

Третий этап совпадает с формированием школ гидроэкологии под руководством Г.Г. Винберга и лимнологии под руководством О.Ф. Якушко. В это время сформированы основные теоретические положения возникновения, строения озерных котловин, истории развития озер, особенностей их гидрологии, закономерностей формирования водной массы, процессов накопления и осадкообразования, и закономерностей функционирования биотических сообщества озер. Результатом обследования и паспортизации 826 озер явилось издание справочников, а позже справочников по водным ресурсам национальных парков Припятский, Браславские озера, Нарочанский. Накопление большого объема фактического материала позволило обобщить и разработать ряд классификаций и типизаций озер: термическую и генетическую, по уровенному режиму, природно-хозяйственную и других.

Лаборатория озероведения БГУ более 20 лет являлась исполнителем мониторинга водной растительности озер и рек в программе Национальной системы мониторинга окружающей среды. Большая работа проведена по изучению уникальных озер, обоснование и подготовка документов на создание особо охраняемых территорий, ядрами охраны которых являются озера и водно-болотные угодья.

Интенсивное антропогенное воздействие на озера, проявившееся с середины XX века, продиктовало необходимость поиска причин и индикаторов этих процессов, разработку путей предотвращения их негативного влияния, методов рекультивации

нарушенных экосистем и разработку планов управления озерами. В последние годы появилась возможность использования современных технических средств: эхолотов, управляемых подводных аппаратов, данных дистанционного зондирования Земли, а также опыт глубоководных погружений дайверов, что значительно расширило возможности визуального исследования озер и отбора проб “in situ”. Предметом изучения являются реликтовые виды животных и растений, среда их обитания, подводное строение котловин, микро- и макрорельеф дна, процессы седиментации.

Развитие информационных технологий и имитационного моделирования дают возможность развить надежное прогнозирование изменений экосистем, анализировать термическую структуру озер, использовать комплексные гидрологические и лимнологические модели для выявления взаимосвязи атмосферных процессов и термодинамики озер.

Дистанционная оценка характеристик неизученных озер арктической зоны Российской Федерации

Кондратьев С.А.* , Зверев И.С., Голосов С.Д., Расулова А.М.

Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: kondratyev@limno.org.ru

Предложена методика оценки гидрофизических и химико-биологических характеристик неизученных малых и средних озер (площадью до 100 км²) арктических территорий России с использованием методов дистанционного зондирования и математического моделирования. Методика основана на использовании одномерной модели гидротермодинамических и химико-биологических процессов в водоемах. Предложенный подход позволяет на основе информации о географических координатах и площади поверхности озера получить оценку теплопереноса между атмосферой, льдом, водой и донными отложениями, дату образования ледового покрова, его толщину и продолжительность существования ледостава, рассчитывать профили температуры воды и донных отложений, а также растворенного кислорода по глубине. При этом не требуются контактные измерения, что крайне важно для труднодоступных и малоизученных северных территорий нашей страны.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 24-27-00067 «Методика дистанционной оценки характеристик неизученных озер зон многолетней мерзлоты с использованием спутниковой информации и математического моделирования»

Перспективы внедрения альгицидов нового поколения в практику реабилитации и защиты водоемов от цианобактериального «цветения»

Курашов Е.А.^{1,2*}, Крылова Ю.В.^{1,2}, Аникина В.В.^{1,3}, Явид Е.Я.¹

¹ *Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

² *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок (Ярославская обл.)*

³ *Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГОСНИОРХ») им. Л.С. Берга),
г. Санкт-Петербург*

* e-mail: evgeny_kurashov@mail.ru

Феномен опасных цианобактериальных «цветений» (ОЦЦ), являясь глобальной проблемой, имеет непосредственное отношение ко всем типам водопользования и влияет в конечном итоге на условия и результаты хозяйствования во многих практических областях и, в конечном итоге, на качество жизни населения. ОЦЦ следует предотвращать, и после него необходима реабилитация водных экосистем для нивелирования его отрицательных последствий. Эти последствия включают в себя множественные угрозы для водных экосистем в целом, гидробионтов, околководных животных и человека, в том числе воздействие цианотоксинов, приводящих как к локальной, так и к глобальной деградации водных ресурсов. В связи с этим актуальна задача по поиску и внедрению в практику биотехнологических методов, эффективных для предотвращения и подавления избыточно развивающихся цианобактерий, при этом безопасных для других компонентов водных экосистем.

Решение задачи предотвращения и ослабления ОЦЦ внутренних водоемов предлагается путем внедрения конвергентной природоподобной технологии на основе природного явления аллелопатии. Эта технология фактически имитирует воздействие водных макрофитов на фитопланктон, включая нежелательные цианобактерии, посредством воздействия определенных веществ-аллелохимиков.

В докладе проанализированы, имеющиеся на данный момент, теоретические обоснования и экспериментальные данные по использованию аллелохимиков водных растений как в форме отдельных веществ, так и в форме их комбинаций в виде альгицидов нового поколения для ограничения развития цианобактерий во внутренних водоемах. Представлены данные, демонстрирующие эффективность новой технологии для борьбы с цианобактериальным «цветением» водоемов, включая примеры её применения на целых водных экосистемах.

Проведенные исследования выявили, что альгициды нового поколения на основе метаболитов водных макрофитов против цианобактерий безопасны для других компонентов планктонного сообщества и, даже, наоборот приводят к улучшению качества водной экосистемы путем перераспределения потоков энергии и вещества из тупикового пути развития цианобактерий вследствие их замещения другими

водорослями в направлении трофических цепей, когда ресурсы фитопланктона могут быть использованы зоопланктоном и рыбой. Предлагаемая к внедрению природоподобная технология характеризуется высокой инновационностью, заключающейся в своей эффективности, безопасности и экономичности.

Практическое использование аллелохимических препаратов, основанных на метаболитах-аллелохемиках водных макрофитов, может быть рекомендовано для реабилитации водных экосистем и для внедрения в широкую практику в целях осуществления рационального природопользования водными ресурсами в Российской Федерации.

Термическая структура Ладожского озера под влиянием климатических изменений

Науменко М.А.^{*}, Гузиватый В.В.^{}, Каретников С.Г.^{***}**

Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

^{*}e-mail: m.a.naumenko@mail.ru

^{**}e-mail: guzivaty@gmail.com

^{***}e-mail: sergyka55@mail.ru

Термическое состояние крупных озер и водохранилищ во многом определяет трехмерное распределение плотности воды, вертикальную устойчивость водных слоев, и, следовательно, вместе с ветровым режимом, систему преобладающих течений в озерах. Разнообразие видов биологических сообществ в крупных озерах, их пространственная неоднородность и временная изменчивость в значительной мере контролируется вариациями температуры воды.

Разномасштабные, в том числе климатические, изменения могут фиксироваться не только в температуре верхнего перемешанного слоя воды и воздуха над ним, но и в сезонной вертикальной термической структуре и ледовом режиме. В докладе рассматривается современное состояние изученности особенностей вариаций термического режима Ладожского озера, с особым вниманием к весенней термической зоне (термобару) и сезонной изменчивости слоя скачка. Ледовый режим Ладожского озера в значительной степени влияет на даты возникновения полной стратификации озера и на степень ее интенсивности.

Проблемы оценки характеристик наносов в современном озераведении

Поздняков Ш.Р.

*Институт исследований континентальных водных объектов РГГМУ,
г. Санкт-Петербург*

e-mail: tbgmaster@mail.ru

Оценка транспорта и других характеристик наносов при изучении экологического состояния озер в настоящее время приобретает особо важное значение. Дело в том, что экологическое состояние терминальных водоемов, в которые попадает вода с их бассейнов, в значительной степени зависит от транспорта переносимых на поверхности частиц различного рода загрязнений. При этом, наибольшее значение могут иметь частицы субмикронных размеров, поскольку их суммарная площадь поверхности оказывается значительно больше площадей других фракций, даже при незначительном процентном содержании их в общем фракционном составе наносов. В этой связи особый интерес представляет разработка методики оценки гранулометрического состава наносов в субмикронном диапазоне размеров с физической возможностью выделения отдельных фракций для дальнейшего анализа их степени загрязнения. Существующие косвенные методики определения гранулометрического состава, такие, например, как лазерные сканирующие анализаторы, не позволяют выполнить выделения отдельных фракций таких размеров.

Далее, требуется надежная количественная оценка расходов наносов в водотоках, причем не только в замыкающих створах, непосредственно перед впадением в терминальный водоем или в море, но и в любом створе по течению. Данная задача является весьма сложной и попытки разработки методов измерения или расчетов транспорта наносов – как взвешенных, так и влекомых – предпринимаются уже на протяжении более 100 лет. При этом, достаточно удовлетворительной может считаться только методика измерений расходов взвешенных наносов, принятая на сети Росгидромета и заключающаяся во взятии проб воды на мутность на скоростных вертикалях, где определяются скорости течения воды с последующим расчетом единичных расходов наносов и далее расходов наносов на створе. В настоящее время количество гидрологических постов, где такие измерения выполняются, неуклонно сокращается. В этой связи возникает необходимость перехода к численным расчетам расходов наносов на основе модельных построений. Но если для расчетов расходов взвешенных наносов такие построения могут опираться на достаточно большие массивы данных по измерениям таких расходов, то для влекомых наносов таких данных фактически нет вследствие отсутствия приборной базы. Попытки разработки различного рода батометров для измерений влекомых наносов не увенчались успехом, особенно для равнинных рек. Для горных рек были разработаны сетчатые батометры и регистраторы движения частиц, однако широкого распространения они не получили и

применялись лишь для уникальных серий измерений. То же самое можно сказать о расчетных методах оценки расходов влекомых наносов, как правило, дающих разброс вычисляемых значений, различающихся на порядки при одних и тех же гидродинамических характеристиках. При этом наиболее надежными являются расчетные схемы, основанные на обобщенном вероятностно-динамическом подходе.

Результаты последних исследований также выявили необходимость уточнения и пересмотра некоторых представлений о характеристиках наносов, таких, например, как плотность частиц наносов. Результаты обследований донных отложений Ладожского озера показали, что даже в пределах одного водоема эта характеристика может изменяться в широких пределах. Данное обстоятельство должно учитывать, что в дальнейшем, при условии включения микропластиковых частиц в совокупность наносов, диапазон возможных значений плотности частиц значительно расширится. При этом требуется усовершенствование зависимостей для оценки гидравлической крупности частиц и расширения диапазона их применимости для условий различной плотности воды и плотности частиц наносов.

Как менялись климат и ледники за последние 2 тыс. лет и как это отражается в озерных осадках

Соломина О.Н.

Институт географии РАН, г. Москва,

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
г. Москва,*

e-mail: olgasolomina@yandex.ru

Озерные отложения и колебания горных ледников – важные источники сведений об изменениях климата в прошлом. Используемые совместно и в комплексе с другими данными высокого разрешения, такими как ледниковые керны и годовые кольца деревьев, могут дать представление об изменении сезонных температур, осадков и других параметрах климата и природной среды.

Современные методы исследований (SR XRF, гиперспектральная съемка, датирование с помощью космогенных изотопов, радиоуглеродное AMS датирование, OSL и др.) открывают возможности построения высокоразрешающих реконструкций, которые пригодны для сопоставления с данными инструментальных метеорологических наблюдений и построения эмпирических моделей. Это важно для решения проблемы разделения естественного и антропогенного изменения климата и, в целом, для проверки качества математических моделей глобального климата.

В докладе будут рассмотрены современные представления о колебаниях климата и их причинах за историческое время, а также связанные с этим изменения горных

ледников в нескольких ключевых районах. Особое внимание мы уделим проблеме форсингов и их влиянию на климатические изменения в классическом и позднеантичном малом ледниковом периоде, средневековом и Римском оптимуме. Причины и даже временные границы этих крупных, по меркам голоцена, климатических событий, остаются дискуссионными. В докладе будут представлены результаты сопряженного анализа высокоразрешающих реконструкций колебаний климата по озерным осадкам и ледников по космогенным датировкам морен в Альпах, в Скандинавии и на Кавказе. В последнем случае речь пойдет о новых космогенных датировках морен и их сопоставлении с полученными ранее палеолимнологическими реконструкциями. В частности, с помощью палеолимнологических данных озера Каракель на Кавказе впервые достоверно удалось определить границы теплой средневековой аномалии (960–1270 гг.) и малого ледникового периода, состоящего из трех фаз (1270–1410; 1500–1630; 1750–1840 гг.) [1]. По осадкам озера Гарабаши (Приэльбрусье) выделен период повышенной увлажненности около 1600 л. н., который совпадает с наступанием ледника Ирик, датированного по космогенным изотопам [2].

Литература

[1] Alexandrin M.Y., Solomina O.N., Darin A.V. Variations of heat availability in the Western Caucasus in the past 1500 years inferred from a high-resolution record of bromine in the sediment of Lake Karakel // *Quaternary International*. 2023. Vol. 664. P. 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.05.020>

[2] Solomina O.N., Jomelli V., Bushueva I.S. First ^{10}Be dates of the Late Holocene moraines of the Kashkatash and Irik Glaciers, Northern Caucasus // *Led i Sneg*. 2023. Vol. 63, No 3. P. 410–425.

Палеолимнологические исследования в России: история и современное развитие

Субетто Д.А.^{1*}, Сапелко Т.В.², Кузнецов Д.Д.², Лудикова А.В.², Белкина Н.А.³, Кублицкий Ю.А.¹, Пестрякова Л.А.⁴, Рогозин Д.Ю.⁵, Рудая Н.А.⁶, Страховенко В.Д.⁷, Федотов А.П.⁸, Фролова Л.А.⁹

¹ РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург

² Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

³ Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

⁴ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск

⁵ Институт биофизики СО РАН – ФИЦ КНЦ СО РАН, СФУ, г. Красноярск

⁶ Институт археологии и этнографии СО РАН, г. Новосибирск

⁷ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

⁸ Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

⁹ Казанский федеральный университет, г. Казань

* e-mail: subetto@mail.ru

История палеолимнологических исследований (реконструкция формирования и функционирования озерных экосистем во взаимосвязи с природно-климатическими изменениями во времени и пространстве на основе комплексного изучения озерных отложений) как отдельного направления палеогеографических исследований в нашей стране берет свое начало с 1950-х гг. В 1959 г. в Лимнологическом институте СО АН СССР в г. Иркутске была основана первая палеолимнологическая лаборатория. Инициатором создания этой лаборатории был профессор, д. г.-м. н. Герберт Генрихович Мартинсон. Позднее, в 1972 г., его же усилиями была создана лаборатория палеолимнологии в Институте озераедения АН СССР в г. Ленинграде. В 1976 г. учреждена Палеолимнологическая комиссия Всесоюзного географического общества СССР. Регулярно стали проводиться тематические конференции, например, Всесоюзная конференция «История озер СССР». С 1960-х гг. эта конференция проводилась регулярно каждые 3 года вплоть до 1990-х гг. После длительного перерыва, палеолимнологические конференции возобновились. В 2014 г. в г. Петрозаводске Институтом водных проблем Севера Карельского научного центра РАН была организована и успешно проведена первая международная конференция и школа молодых ученых «Палеолимнология Северной Евразии». Эта конференция теперь проводится регулярно, раз в два года, на базе крупных научно-образовательных центров России – один раз в европейской части нашей страны, один раз в азиатской (СВФУ, Якутск 2016 г.; КФУ, Казань, 2018 г.; ЛИИ СО РАН, Иркутск, 2020 г.; РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, 2022 г.; и следующая бая конференция запланирована на базе СФУ в Красноярске в 2024 г.). С середины 1980-х по 1990-е годы были инициированы и успешно проводились комплексные палеолимнологические

исследования в Институте озероведения АН СССР совместно с другими профильными институтами и университетами по теме «История озер СССР». В рамках этих исследований были изучены многочисленные озера и их донные отложения Кольского полуострова, Большеземельской тундры, п-ова Таймыр, Карелии и Восточно-Европейской равнины, Урала, Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии и Кавказа. Результатом этих масштабных работ стала серия коллективных монографий История озер СССР [1]. В последние десятилетия география палеолимнологических исследований сильно расширилась, включая Арктику и Антарктику, произошел качественный скачок по внедрению новых методов и приборов отбора проб, анализа образцов и обработки полученных данных [2].

Литература

[1] История озер Восточно-Европейской равнины // Серия «История озер». СПб.: Наука, 1992. 262 с.

[2] Субетто Д.А., Назарова Л.Б., Пестрякова Л.А. и др. Палеолимнологические исследования в российской части северной Евразии: обзор // Сибирский экологический журнал. 2017. Т. 24, №4. С. 369–380.

Некоторые современные проблемы озероведения в России и пути их решения

чл.-корр. РАН Филатов Н.Н.

Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

e-mail: nfilatov@rambler.ru

Рассмотрены некоторые современные проблемы озероведения в России. В докладе обсуждаются результаты исследований, выполненных ИВПС КарНЦ совместно с коллегами из других институтов РАН (ИНОЗ, СПб ЭМИ, ИВП, ИВМ, ИО РАН и др.) по изучению закономерностей внутривековых и сезонных изменений гидрологического режима и экосистем крупнейших озер Евразии. Показаны проблемы и подходы к созданию информационно-аналитических систем (ИАС), предназначенных для оценки состояния и прогнозирования динамики системы «озеро – водосбор». Рассматриваемые в докладе озера Ладожское, Онежское, Байкал, Каспий имеют стратегическое значение для развития экономики регионов. Однако недостаточно исследованные закономерности их изменчивости гидрологического режима и экосистем и, в особенности, несовершенные методы прогноза, не позволяют корректно решать ряд практических задач, связанных с водными и биоресурсами, энергетикой, водным транспортом, питьевым водоснабжением.

Предпринятые ранее попытки долгосрочного прогноза внутривековых изменений уровня воды таких озер как Каспий и Байкал по разным причинам оказались неудачными. Изменения водного баланса, уровня воды озер оказывают влияние на экосистемы и многочисленных водопользователей и потребителей. Колебания уровня воды Каспия имеют не только региональное значение, но и глобальное влияние на климат. Потепление климата в последние 30 лет отмечалось на водосборах всех рассматриваемых озер Евразии (Байкал, Ладожское, Онежское, Каспий). При этом реакция гидрологического режима и экосистем на потепление климата существенно отличалась в зависимости от региональных особенностей, влияния антропогенных факторов, площади и структуры водосбора. Длительные инструментальные измерения параметров гидрологического режима, колебания уровня воды озер не всегда дают однозначный ответы на вопросы о том, в какой степени эти характеристики могут, являться индикатором климатических изменений, каков вклад естественных природных и антропогенных воздействий в его изменчивость. Это особенно актуально для озер, имеющих зарегулированный гидрологический режим.

Показано, что природные климатические внутривековые колебания уровня воды в озерах Онежское, Саймаа, Байкал, а также Верхнее, Онтарио «подавляются» регулированием, что снижает возможности прогноза. Внутривековые колебания уровня воды Ладожского и Онежского озер, флуктуации которых по данным вероятностного анализа инструментальных наблюдений, имеют высокую когерентность (более 0.9) для периода до зарегулирования гидрологического режима, т.е. до середины 1950-х гг. XX века, а после регулирования режима Онежского озера когерентность флуктуаций уровня воды этих озер снизилась до 0.7 [1]. Анализ связей внутривековой изменчивости уровня воды великих озер России и Великих американских озер не выявил общих закономерностей, которые позволили бы улучшить возможности долгосрочного прогноза внутривековых колебаний уровня озер. Амплитуда и дисперсия флуктуаций уровня воды изучаемых озер Евразии и Северной Америки для периода после регулирования режима более чем на 30 % меньше, чем для периода до зарегулирования. Внутривековые колебания уровня воды когерентны только в системах Великих озер Евразии и Северной Америки и только для периода до зарегулирования гидрологического режима. Изменения уровня воды Каспия имеет существенно нестационарный характер, а механизмы его долгопериодной изменчивости до конца не изучены. Как для Каспия, Ладожского и Онежского озёр, так и для Великих американских озёр остается существенная неопределённость долгосрочного прогнозирования внутривековых изменений уровня вод и их экосистем.

Фундаментальной и практической задачей остаётся совершенствование системы прогноза внутривековых и сезонных изменений колебаний уровня воды, гидрологического режима и экосистем. Решать эту задачу необходимо как в рамках совместного анализа уравнения водного баланса моря и уравнения баланса влаги региона, включающего конкретный водоем и его бассейн, так и путем проведения

экспериментов с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) с целью исследования влияния Атлантического океана на формирование климатической изменчивости озер Европейской части России (ЕЧР). Такой подход позволяет дать физическое объяснение изменения уровня крупных озер. Результаты расчётов на МОЦАО, созданной в ИВМ РАН, показывают возможное понижение температуры воздуха и уменьшение атмосферных осадков на ЕЧР в ближайшие 15–20 лет, из-за чего с временным сдвигом несколько лет будет продолжаться падение уровня воды Каспия.

Представлены результаты изменения экосистем озер с использованием российских 3-D моделей для изучения реакции озерных систем на климатические и антропогенные воздействия. Для Великих озер Европы (Ладожского и Онежского) примерно до 2014 г. более заметной была реакция экосистем озер на изменения антропогенной нагрузки, по сравнению с вариациями климата. В последние годы, при длительном потеплении климата, на водосборах озер из-за увеличения стока в зимний период стали заметны изменения экосистем озер, обусловленные влиянием климата [1]. Для Ладожского и Онежского озер в рамках гранта РФФИ [1] разработаны две модели экосистем, а также т.н. инновационные модели с использованием методов клеточных автоматов. Для социо-эколого-экономических исследований системы «озеро-водосбор» разрабатываются модели с применением когнитивного подхода. Выявленные закономерности изменений гидрологического режима и экосистем озер необходимо учитывать при решении социально-экономических проблем регионов, а также совершенствовании законодательных актов для сохранения и рационального использования ресурсов озер.

Литература

[1] Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России. / Под ред. Н. Н. Филатова. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 255 с.

Работа выполнена по гранту РФФИ № 22-17-00193.

СЕКЦИЯ 1 – ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛИМНОЛОГИИ. ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Распределение водных и околоводных птиц на территории озера Имандра

Банникова Ю.М.

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты

email: y.bannikova@ksc.ru

Исследование проводилось в летний период 2023 г. с помощью маршрутного метода, включающего определение всех встреченных птиц до вида и записью места встречи. Были осуществлены следующие маршрутные учеты по берегу оз. Имандра: 6 – вдоль Большой Имандры, 2 – вдоль Экостровской Имандры и 1 – вдоль Бабинской Имандры.

На территории озера наибольшее видовое разнообразие водных и околоводных птиц было отмечено в районе г. Мончегорска (15 видов) и в районе поселка Имандра (17 видов), наименьшее в районе пролива Широкая Салма (5 видов). В процентном соотношении наибольшая численность птиц также была отмечена в районе г. Мончегорск, что составило 41 % от всех встреченных автором водных и околоводных птиц на Имандре.

В районе г. Мончегорска всего было встречено 443 птицы. Наиболее часто здесь встречаются следующие виды: малая чайка – 118 особей, ласточка береговушка – 150 птиц и серебристая чайка – 54 особи. На противоположном берегу Большой Имандры, в районе поселка Имандра, наблюдали 220 птиц, из них в большем количестве были встречены: 101 самец большого крохалея, 22 особи сизой чайки и 9 озерных чаек. На участке вдоль пролива Широкая Салма (Бабинская Имандра) всего было встречено 20 птиц, наиболее часто встречались самцы и самки длинноносого крохалея. У поселка Имандра большая часть птиц наблюдалась на песчаной косе, защищенной от ветра и течений. Помимо перечисленных видов, здесь наблюдались золотистая ржанка, галстучник, клуша и серебристая чайка. В то же время, очевидно, стая самцов больших крохалей не размножалась на данной территории, а лишь совершала остановку. Подобные изолированные места используются птицами для восстановления ресурсов, а не для гнездования. В самом г. Мончегорске и его окрестностях совершенно иная ситуация. На краю города, вблизи очистных сооружений, было встречено 288 птиц (65 % от всех встреченных в районе Мончегорска).

Существуют различные причины подобного распределения. Так, в воды Мончегорска, одного из самых загрязненных городов Кольского п-ва, попадают

значительное количество фосфора и азота, как из самого города, так и от соседствующего с ним горнодобывающего комбината. В этом отношении окрестности очистных сооружений представляют скопления биогенных элементов [1], потенциально влияющих на продукцию кормовой базы водных и околоводных птиц, отмеченных нами на этой территории. Таким образом, наблюдаются отличные условия местообитания, сформированные как антропогенной деятельностью, так и естественными условиями, влияющие на распределение орнитофауны на оз. Имандра.

Литература

[1] Экологическое состояние озера Имандра. Т. 1 : Гидролого-геохимические условия / под ред. Т.И. Моисеенко, В.А. Даувальтера, С. С. Сандиминова ; Ин-т проблем промышленной экологии Севера ; ФИЦ КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2023. 221 с.

Диатомовые комплексы в поверхностных донных отложениях озера Имандра (Мурманская область) как биоиндикаторы современных изменений экосистемы водоёма

Вокуева С.И.^{1*}, Денисов Д.Б.¹, Барина С.С.²

¹ *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты*

² *Институт эволюции Хайфского университета, г. Хайфа, Израиль*

*e-mail: s.vokueva@ksc.ru

Озеро Имандра – одно из крупнейших пресноводных водоёмов, расположенное на северо-западе России, и крупнейшее в Мурманской области, имеющее питьевое, рыбохозяйственное и рекреационное значение. Для озера характерна сложная форма и извилистая береговая линия, в его пределах выделяют три обособленных плёса (Большая, Йокостровская и Бабинская Имандра). Цель работы заключалась в оценке состояния экосистемы озера Имандра в его различных участках с помощью индикаторных свойств диатомовых водорослей, а также выявлении основных факторов, влияющих на современное состояние.

В результате исследования были проанализированы диатомовые комплексы поверхностных донных отложений озера Имандра (0–1 см), отобранных на 26 участках. С помощью биоиндикационных и статистических методов были построены карты пространственного распределения биоиндикаторных групп, а также распределения некоторых параметров окружающей среды, включая концентрации химических элементов в донных отложениях, рассчитанные индексы сапробности и видового разнообразия. Полученные статистические карты были разделены на три группы в соответствии с типом пространственного распределения.

Параметры из первой группы связаны с природными характеристиками озера и указывают на высокое видовое разнообразие в Бабинской Имандре и частично в Йокостровской, особенно в губах, а также на отсутствие загрязнения органическими и токсичными веществами. Распределение параметров из второй группы связано с органическим загрязнением южной части плёса Большая Имандра (в районе поступления отходов от производства апатитового концентрата и стоков городов Апатиты и Кировск). Максимальные значения индекса сапробности, показателей 4-го класса качества вод и присутствие видов-гиперэвтрафентов, высокое содержание алкалибионтов, а также изменение рН в слабощелочную сторону указывают на общую тенденцию к ухудшению трофического состояния озера в этом районе. Распределение параметров из третьей группы также связано с биогенной нагрузкой на озеро в северо-западной части Большой Имандры в результате поступления сточных вод г. Мончегорск, но в меньшей степени (наблюдаются максимальные значения показателей 3-го класса качества вод и присутствие видов-эвтрафентов). В первую очередь здесь отмечено влияние загрязнения токсическими элементами, такими как медь, никель и кадмий, поступающих в результате деятельности медно-никелевого предприятия.

Также были выявлены основные факторы, влияющие на развитие тех или иных диатомовых комплексов (морфометрический фактор, гидрологический и антропогенный). В районах воздействия апатит-нефелиновой и медно-никелевой промышленности (плёс Большая Имандра) проявляются процессы эвтрофирования, а во втором из них также отмечена токсическая нагрузка. Установлено, что в районе стока из Большой Имандры в Йокостровскую сообщества диатомей схожи, что подтверждает влияние гидрологического фактора. В западной части Йокостровской Имандры и в Бабинской условия близки к естественным, и антропогенный фактор уже не оказывает влияние на формирование диатомовых комплексов. В результате чего этот район характеризуется высоким таксономическим разнообразием, меньшими индексами сапробности и уровнем рН, близким к нейтральному.

Теория и практика проведения рыбохозяйственной мелиорации на водных объектах Северо-Запада России

Глибко О.Я.

Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: glibko.o@spcras.ru

Рыбохозяйственной мелиорацией являются мероприятия по улучшению показателей гидрологического, гидрогеохимического, экологического состояния водных объектов в целях создания условий для сохранения и рационального использования водных биоресурсов, а также обеспечения производства продукции аквакультуры. Мелиорация помогает эффективно бороться с такими явлениями, как зарастание водоемов, заилевание, заболачивание, «цветение» воды и др. Законодательством определено, что рыбохозяйственная мелиорация может осуществляться путем проведения следующих мероприятий: 1) проведение дноуглубительных работ и (или) работ по извлечению донного грунта; 2) удаление водных растений из водного объекта; 3) создание искусственных рифов, донных ландшафтов в целях улучшения экологического состояния водного объекта), а также каналов, обеспечивающих свободный проход водных биоресурсов к местам нереста; 4) изъятие хищных видов и малоценных видов водных биоресурсов; 5) расчистка проток, устьев и русел рек, а также водопроводящих и сбросных каналов; 6) выпуск растительноядных видов рыб в водные объекты рыбохозяйственного значения.

При планировании и организации мелиоративных работ необходимо учитывать конкретные условия и состояние водного объекта. Рыбохозяйственная мелиорация осуществляется филиалами ФГБУ «Главрыбвод» в рамках государственных заданий либо иными заинтересованными лицами после включения их органами Росрыболовства в план мероприятий по рыбохозяйственной мелиорации на соответствующий год.

Анализ мероприятий по рыбохозяйственной мелиорации, проводимых по заявкам заинтересованных лиц на водных объектах Северо-Запада России за последние 5 лет (2018–2022), показывает, что в 94.8 % мероприятий по мелиорации организуются рыбоводными хозяйствами. Основными видами мелиорации являются удаление водных растений из водных объектов (77.9 %), изъятие хищных и малоценных видов рыб (14.03 %). В единичных случаях практикуется выпуск растительноядных видов рыб. Так, в Сестрорецкий разлив (г. Санкт-Петербург) для борьбы с массовым развитием водорослей выпускался гибрид пестрого и белого толстолобика. На отдельных рыбоводных участках на Ладожском озере в границах Республики Карелия организовывались мероприятия по извлечению донных грунтов.

К наиболее масштабным государственным мероприятиям можно отнести рыбохозяйственную мелиорацию озера Ильмень (Новгородская область), проводимую с 2019 года Северо-Западным филиалом ФГБУ «Главрыбвод» [1]. Она включала выкос

водной растительности и проведение дноуглубительных работ в пойме озера и устьевых участках рек Мста и Ловать.

Практически не проводится рыбохозяйственная мелиорация как мероприятие по компенсации вреда водным биоресурсам. Проблемой являются сложности в оценке ее эффективности в качестве компенсационного мероприятия. Только в 2020 году методикой (приказ Росрыболовства от 6 мая 2020 года №238) были закреплены механизмы оценки эффективности, но они еще недостаточно отработаны.

Литература

[1] Лукин А.А., Лукина Ю.Н., Сырица М.А. Рыбохозяйственная мелиорация озера Ильмень при изменении гидрологических условий // Рыбное хозяйство. 2019. №2. С. 65–70.

Использование экспериментальных многофункциональных пресноводных аквариумных установок как средство сохранения редких и исчезающих видов гидробионтов

**Глызина О.Ю.*, Авезова Т.Н., Глызин Л.А., Яхненко В.М., Ицкович В.Б.,
Королёва А.Г., Кармаданова А.А., Суханова Л.В., Сапожникова Ю.П.**

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

*e-mail: glyzina@lin.irk.ru

Для поддержания численности популяций редких и исчезающих видов байкальских гидробионтов важным элементом является выращивание их в искусственных условиях. Целью работы было выявление условий искусственного разведения и долгосрочного содержания эндемичных байкальских гидробионтов (губок, промысловых рыб) в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ). Разработка методов искусственного воспроизводства и содержания гидробионтов проводится на базе уникальной научной установки «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» (УНУ ПАК). Размещение установки в непосредственной близости как к озеру Байкал, так и к высокотехнологичному оборудованию позволяет осуществлять необходимый контроль, проводить краткосрочные и долговременные эксперименты и наблюдения, трудноосуществимые в естественных и/или полевых условиях, и содержать живые коллекции гидробионтов.

Негибридные и гибридные формы байкальских промысловых сиговых рыб инкубировали путем искусственного оплодотворения с использованием нативных и криоконсервированных половых продуктов, получая чистые линии и гибридные формы рыб (F1, F2, беккроссы) и содержали в установках замкнутого водоснабжения с 2010 г. Для получения быстрорастущих, стрессоустойчивых и экологически чистых

аквакультур рыб используется комплекс технологий (криобанк спермы, мини-УЗВ, стимуляция развития, контроль среды) и анализов (молекулярно-генетический, морфофизиологический, поведенческий, биохимический, микробиологический). Регулярный прижизненный мониторинг биологических показателей позволил контролировать стабильность и темпы развития рыб. Апробированы биомаркеры стресса как показатели благополучия рыб в условиях аквакультуры. Множественные краткосрочные и долгосрочные экспериментальные работы проводились на всех стадиях онтогенеза рыб. В специальной установке – фотобиореакторе при точном контроле потока воды, освещения и температуры в течение нескольких лет проводятся экспериментальные работы и наблюдения за размножением, ростом и развитием губок. Для медленной адаптации пресноводных гидробионтов, обитающих при низких температурах и в узком температурном диапазоне, было создано несколько экспериментальных установок.

Таким образом, использование мини-УЗВ с комплексом мульти-тест-систем даёт возможность получать более точные количественные и качественные показатели факторов, лимитирующих рост и развитие гидробионтов и их жизнедеятельность в искусственных условиях, и позволит в дальнейшем расширить количество маркёров для более глубокого понимания экосистем пресноводных холодноводных озёр. Уникальность УНУ ПАК определяет возможности мультидисциплинарного изучения особенностей эндемичных гидробионтов озера Байкал и Байкало-Ангарского бассейна в лабораторных условиях, изменения параметров среды обитания для оценки адаптивных особенностей байкальских гидробионтов, культивирования и содержания гидробионтов в «живой» байкальской воде, долгосрочного сохранения живой биокolleкции уникальных байкальских организмов.

Живая коллекция байкальских организмов получена в рамках государственного задания ЛИН СО РАН 0279-2021-0005 (121032300224-8), проектов РФФИ, МОКНСМ №20-54-44017 Монг_а, РФФ № 22-24-01037. Экспериментальные работы по изучению температурного стресса выполнены в рамках проекта РФФ №23-24-00644.

Исследования выходов газа на дне озера Байкал

Дронь О.В.* , Шахвердов В.А.

*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург*

*e-mail: Oleg_Dron@vsegei.ru

Уникальность Байкала и его недр, с геологической точки зрения, заключается в том, что он одновременно является водным, седиментационным и нефтегазоносным бассейном. В нем существуют благоприятные термобарические условия для масштабной генерации газообразных и жидких углеводородов. Углеводородные системы на Байкале представлены: горючим газом, нефтью, газовыми кристаллогидратами, растворёнными в воде углеводородными газами, углеводородными газами донных осадков. Выходы газа со дна озера, так называемые «газовые грифоны» или газовые «факелы», являются наиболее многочисленными объектами миграции углеводородов. Аномально высокие объемы разгрузки углеводородов опасны не только для уникальной флоры и фауны озера Байкал, но и для людей. В связи с этим изучение характера проявления природных процессов миграции углеводородов в пределах акватории и береговой зоны представляет большой практический интерес, позволяя уменьшить ущерб от их последствий для населения и объектов инфраструктуры.

Оптимальный комплекс, применявшийся нами для исследований, включал: геофизические методы (непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП), гидролокацию бокового обзора (ГЛБО), комплексное гидроакустическое профилирование (многолучевое эхолотирование), геологические методы (литогеохимическое описание и опробование донного грунта, газо- и гидрогеохимические исследования донного грунта и придонных вод, экспресс-аналитические гидрогеохимические исследования, подводную фото- и телесъемку). В ходе проведенных комплексных геолого-геофизических работ только в пределах Селенгинского мелководья определено точное положение более 100 газовых грифонов. В целом акваторию Селенгинского мелководья следует рассматривать как уникальную с точки зрения их количества и активности. Газ мигрирует к поверхности по проницаемым зонам, образуя стабильные в пространстве области газовых источников в виде многочисленных газовых струй. Большинство объектов проявлены в толще воды в виде акустических аномалий, которые фиксируются как в процессе проведения различных видов эхолотирования, так и гидролокации бокового обзора. Свободный газ характеризуется разнообразием состава. При среднем содержании метана в 53.6 % объемных, его концентрации колеблются от 0.1 до 95.1 % объемных. При отсутствии метана основным газом в пробах является азот (до 98.4 % объемных). Газовые грифоны могут сопровождаться изменением таких физико-химических показателей, как температура донного грунта и придонной воды, а также окислительно-

восстановительного потенциала (Eh) и щелочно-кислотных свойства (pH) придонных вод и грунта. Исследования, проведенные в бухте Змеиной Чивыркуйского залива, свидетельствуют о том, что выходящие на дне термальные газонасыщенные воды имеют щелочные и восстановительные (глеевые) по отношению к железу свойства. В газовом составе преобладают азот и метан.

В зимний период в районе грифонов лед не намерзает и остается тонким из-за газовой прослойки между льдом и водой. Весной это приводит к образованию многочисленных пропарин, в которые проваливаются автотранспортные средства рыбаков и туристов. Зная местоположение постоянно действующих грифонов и связанных с ними пропарин, можно прокладывать безопасные маршруты движения по Байкалу в ледовый период.

Применение дистанционных методов для изучения донных ландшафтов Ладожского озера

Дудакова Д.С.^{1*}, Дудаков М.О.², Анохин В.М.¹

¹ *Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

² *Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

*e-mail: judina-d@yandex.ru

Начиная с 2013 г. авторским коллективом проводится изучение донных ландшафтов Ладожского озера разных иерархических уровней, что охватывает исследование отдельных типологических единиц, с использованием всего комплекса методов подводного ландшафтоведения. Последний включает в себя, в том числе методы дистанционного зондирования с применением современного высокотехнологичного оборудования, такого как: необитаемые подводные аппараты, беспилотные летательные аппараты и гидролокаторы с функцией бокового обзора. Целью настоящего исследования является апробирование методов дистанционного зондирования для изучения донных ландшафтов Ладожского озера.

Одним из важнейших способов получения информации о внешнем облике донных ландшафтов является подводная видеосъемка. В период 2013–2017 гг. для исследования прибрежных ландшафтов использовался водолазный метод. Исследования проводились на малых полигонах размером 100x100 м и включали видеофиксацию облика донных ландшафтов на разных глубинах, отбор зооперифитонных и зообентосных проб [1], создание батиметрических моделей, получаемых при оцифровывании данных с эхолота в специализированных картографических программах. Всего было обследовано 25 полигонов по большей части в северном шхерном районе Ладоги, где наиболее выражена вертикальная

зональность и мозаичность биотопов. С 2017 г. для работы на всей акватории Ладожского озера в ИНОЗ РАН был разработан телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) Limnoscout, конструкция которого учитывала специфику водоема [2]. Этот аппарат также применим для работы на других крупных водоемах и способен производить съемку видео на глубинах 300 м и более. С использованием ТНПА Limnoscout подводной видеосъемкой были охвачены все типы ландшафтов и весь диапазон глубин Ладожского озера. В том числе в 2021–2022 гг. производилось погружение подводного аппарата на максимальные глубины 230 м в зонах глубоководных впадин Ладоги. Полученные данные использованы для описания и выделения различных элементов ландшафтов Ладожского озера.

На мелководных участках с малыми уклонами дна и относительно высокой прозрачностью, позволяющей видеть поверхность дна и выделять отдельные фациальные элементы, эффективным методом является аэрофотосъемка. В наших исследованиях использовались беспилотные летательные аппараты (БПЛА) для изучения берегов и подводных ландшафтов прибрежной зоны. Съемка в видимом диапазоне с БПЛА DJI Phantom 2 в береговой зоне Ладожского озера в период 2013–2016 гг. (более 50 полетов) позволила провести типизацию морфологических типов берегов [3] и получить комплекты аэрофотоснимков. Последние дали возможность определить структурные особенности (состав и количество отдельных фаций, их пространственную организацию, степень мозаичности или однородности, четкость границ) мелководных ландшафтов всего озера и послужили основой для построения крупномасштабных ландшафтных карт береговой зоны.

С 2022 г. при проведении ландшафтных исследований на Ладожском озере также апробировано использование гидролокатора с функцией локации бокового обзора Hummingbird SOLIX 10. Эффективным подходом оказалось совмещение мозаик сонограмм с гидролокатора и видеоизображений с подводного аппарата: в комплексе оно позволяет проводить качественную площадную съемку дна с верификацией границ разных ландшафтных фаций с использованием получаемых эхограмм.

Литература

- [1] Дудакова Д.С. Метод полигонного исследования распределения мейобентоса в литорали Ладожского озера (на примере северного шхерного района) // Биология внутренних вод. 2016. №2. С. 104–112.
- [2] Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Анохин В.М. Опыт применения глубоководного телеуправляемого аппарата для изучения подводных ландшафтов Ладожского озера // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 4 (16). С. 51–55.
- [3] Анохин В.М., Дудакова Д.С., Дудаков М.О. Геоморфология и типизация берегов Ладожского озера по данным съемки беспилотного летательного аппарата // Геоморфология. 2019. №1. С. 25–37.

Соленые озера в лимнологии

Егоров А.Н.^{1*}, Космаков И.В.²

¹ Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург

² НИЛ “Экология природных систем”, г. Красноярск

*e-mail: Alex6-1@mail.ru

Анализ литературных данных, собственные полевые и камеральные исследования позволили определить и решить ряд задач, связанных с пространственно-временными закономерностями и особенностями формирования и развития природных и антропогенных процессов в соленых озерах различных географических зон. Исследование позволило выявить характер и степень взаимодействия соленого озера и окружающей его среды, оценить структуру, особенности и прикладное значение природных ресурсов соленых озер в их географическом распространении.

Соленые озера имеют важное значение для развития фундаментальных наук: экологии, физиологии, эволюционной биологии, палеолимнологии, гидрологии, геохимии. В биологическом отношении можно отметить бедность видового состава гидробионтов, упрощенные трофические связи, особенности физиологии водных организмов и проблемы их адаптации к экстремальным условиям, проблемы ферментативного воздействия на галофилы.

Современное состояние изученности геоэкологии и природопользования соленых озер характеризуется значительным отставанием от масштабов, темпов и результатов их изучения для пресноводных водоемов. Особенности физико-химической и биологической структуры соленых озер, высокая динамика их эволюции формируют уникальные природные ресурсы, потенциал которых очень высок. Эти природные ресурсы обладают широким спектром возможностей: минеральные (различные соли, цеолиты, уран, литий, бром, йод и т.д.), энергетический (возможности преобразования тепловой энергии в электрическую), биологические (культивация и добыча отдельных водорослей: рр. *Spirulina*, *Dunaliella*, и важнейшей кормовой аквакультуры – рачок *Artemia salina*) бальнеологические (целебные грязи) и рекреационные ресурсы.

Проведенные исследования позволили определить соленые озера как важный объект лимнологии: их географию, пространственно-временные закономерности и особенности их абиотических и биотических свойств, природные ресурсы и современные проблемы их сохранения.

Современное гидроэкологическое состояние водоемов Московского региона: результаты мониторинговых исследований Красновидовской станции

**Ерина О.Н.^{1*}, Терешина М.А.¹, Соколов Д.И.¹, Пуклаков В.В.¹, Жихарев В.С.²,
Воденеева Е.Л.², Старцева Н.А.²**

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

² ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

* e-mail: oxana.erina@geogr.msu.ru

С 2012 г. сотрудниками Красновидовской учебно-научной станции географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова реализуется программа комплексного гидроэкологического мониторинга, направленного на отслеживание внутригодовых и многолетних изменений состояния водоемов. За 12 лет существования программа претерпела существенные изменения и значительно расширилась по перечню рассматриваемых показателей и объектов исследований. Основным объектом исследования станции на протяжении всего периода ее существования было и остается Можайское водохранилище – наиболее значимый в Москворецкой системе водоснабжения г. Москвы водоем. Исследования на водохранилище проводятся на 5 реперных станциях, равномерно расположенных по всей длине водохранилища от зоны выклинивания подпора до приплотинного района. Помимо наблюдений на самом водохранилище, производятся исследования основных притоков и воды в нижнем бьефе. Балансовые исследования на водосборе проводились в 2012 г., и с 2016 г. продолжают непрерывно. Сами съемки водохранилища до 2018 г. проводились минимум 2 раза в год, а с 2018 г. ведутся на ежемесячной основе.

В 2017 г. в программу исследований станции вошло озеро Глубокое – один из немногих водоемов в Московской области, состояние которого до сих пор можно считать изменяющимся в первую очередь под воздействием природных факторов. Наконец, в 2021 г. в программу были включены Косинские озера (Белое, Черное и Святое) – единственные природные водоемы в черте г. Москвы, испытывающие на себе колоссальный антропогенный прессинг. Мониторинг состояния всех озер, как и Можайского водохранилища, ведется на ежемесячной основе.

Выбор перечня контролируемых показателей обусловлен их высокой информативностью для оценки трофического статуса водоемов и выявления связей взаимодействия разных уровней водных экосистем – от гидрофизических условий до фито- и зоопланктона. На каждой мониторинговой станции проводятся измерения вертикального распределения температуры воды, электропроводности, содержания растворенного кислорода, величины мутности и концентрации хлорофилла «а». Для подробного анализа гидрофизического состояния водоемов в наиболее глубоководной части каждого из них установлены буйковые станции с автоматическими датчиками температуры воды, установленными на разных глубинах. На Глубоком озере и

Можайском водохранилище также установлены датчики растворенного кислорода в эпилимнионе. В отбираемых с различных горизонтов пробах воды проводится определения растворенных и валовых форм общего азота и фосфора, ортофосфатов, растворенных форм минерального азота, минерального кремния, показателей содержания органических веществ – ХПК, а также компонентов солевого состава. Для характеристики биотических условий анализируется содержания хлорофилла «а», а также исследуется видовой состав и количественные характеристики фито- и зоопланктона.

Единый протокол исследований на всех изучаемых водоемах позволил получить сопоставимые оценки внутригодовой и межгодовой изменчивости экологического состояния водоемов и выделить значимость отдельных факторов в формировании этого состояния.

Экосистемные услуги соленых озер: глобальный анализ в градиенте солености

Задереев Е.С.^{1*}

(Алькосер Д.Х., Альфонсо М.Б.; Андерсон Т.; Ануфриева Е.; Афолина Е.; Баженов Ю.; Базарова Б., Бакстер Б., Барбоза Л.Г., Бекманн М., Борзенко С., Борос Э., Бучер Э., Виньятти А., Вуртсбо У., Головатюк Л., Датсон Б., Джонстон Д., Запитис Ч., Калюжная И., Камачо А., Камачо-Сантаманс А., Каримов Б., Касамайор Э., Кили М., Кини Н.Э.В., Комова А., Коулман П., Кратина П., Криениц Л., Кулшрешта С., Ларсон Р.; Липка О., Матюгина Е., Мелак Д., Морант Д., Морено Э., Намсараев З., Орен А., Орс А., Райвс Д., Роджерс К.; Сантаманс А., Санчес М., Селиванова Е., Сима С., Ташлыкова Н., Тиммс Б., Тойбнер К., Уилсон Р., Уланова С., Уэсо-Кортекаас К., Фариас М., Фетахи Т., Флоренсия К.М., Хадсон П., Цехмайстер Т., Цыбекмитова Г., Чао С., Чжан Д., Шагерль М., Шадрин Н., Эчанис С., Буриан А.)

Институт биофизики СО РАН – ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск

*e-mail: egor@ibp.ru

Соленые озера, возможно, возглавляют – вместе с коралловыми рифами и арктическими системами – список сред обитания, которым наиболее серьезно угрожает изменение климата и воздействие человека. При этом их исследованию уделяется относительно мало внимания. Основная причина этого в том, что часто считается, что соленые озера предоставляют мало экосистемных услуг и обладают низким уровнем биоразнообразия. В данном исследовании мы представляем результаты глобальной оценки влияния солености на экосистемные услуги, обеспечиваемые солеными озерами, и угроз для них.

Исследование выявило разнообразие видов, находящихся под угрозой исчезновения, которые обитают в соленых озерах или непосредственно

поддерживаются ими, и подчеркнуло общую слабую представленность водных животных в списках исчезающих видов. Авторы создали «дерево угрожаемой жизни» для видов, занесенных в Красную книгу МСОП, обитающих в соленых озерах. Этот анализ показывает, что большое количество находящихся под угрозой исчезновения наземных видов напрямую зависит от водных ресурсов соленых озер (например, многие озера являются важными «остановками» для мигрирующих птиц в засушливых и бедных ресурсами средах), что приводит к высокой природоохранной ценности этих уникальных экосистем.

Одним из основных результатов исследования является то, что соленость определяет не количество экосистемных услуг, предоставляемых солеными озерами, а состав услуг, который меняется зависимости от градиента солености. Также определены основные угрозы соленым озерам и обсудили проблемы и задачи управления, которые связаны с присущей соленым озерам изменчивостью уровня воды, солености и функционированием экосистем. Основываясь на наших выводах и коллективном опыте команды соавторов, произведена оценка стратегии управления устойчивым использованием и защитой соленых озер. Результатом этих усилий стал синтез (i) основных характеристик соленых озер, которые усложняют управление ими, и (ii) рекомендаций по передовому опыту для смягчения связанных с этих проблем управления.

Первые результаты исследований содержания микропластика в рыбе Ладожского озера

Зарипова К.М.* , Тихонова Д.А.

Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: fikuspavel@mail.ru

Микрочастицы пластика обнаруживаются во всех компонентах окружающей среды, в том числе в водных экосистемах. Доказано, что микропластик может потребляться гидробионтами. На мировом уровне широко распространены исследования содержания микропластика в организмах морских рыб, в то время как работы по изучению микропластика в пресноводных рыбах России крайне ограничены.

Целью данного исследования является изучение содержания микропластика и его качественного состава в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) рыб Ладожского озера на примере корюшки европейской *Osmerus eperlanus* L. и плотвы *Rutilus rutilus* L. Отбор рыбы был осуществлен в октябре 2022 г. в районе острова Мантсинсаари (северо-запад Ладожского озера). Вылов рыбы производился с судна с помощью удочки. пойманная рыба помещалась в пакеты Ziploc, после чего сразу замораживалась в морозильной камере, далее в сумке-холодильнике транспортировалась в лабораторию,

где пробы хранились в морозильной камере до начала анализа. В лаборатории животных размораживали, после чего промывали дистиллированной водой. Далее измеряли массу особей с точностью до 0.0001 г и общую длину. В вытяжном шкафу ЖКТ рыб вырезали от пищевода до анального отверстия и помещали в стеклянные колбы объемом 100 мл. В колбы добавляли 10 % КОН для разложения ткани и выдерживали в течение 24 ч при 60°C в сушильном шкафу. После растворения органического материала пробы фильтровались на металлическую сетку с размером ячеек 60 мкм. Полученный осадок смывался дистиллированной водой на чашку Петри. Чашка накрывалась металлической сеткой и оставлялась при комнатной температуре до полного испарения жидкости, после чего пробы анализировались под микроскопом. Параллельно с основными пробами проводился анализ холостых проб. Частицы, обнаруженные в холостых пробах, вычитались из итогового содержания частиц в организме. Первичный анализ частиц микропластика проводился под оптическим микроскопом: фиксировались частицы, отвечающие общепринятым критериям для визуального анализа (отсутствие клеточной структуры, цвет). Частицы, предварительно идентифицированные как микропластик, переносились в отдельную чашку Петри для последующего анализа спектральными методами.

В ЖКТ корюшки было обнаружено от 0 до 11 частиц, визуально похожих на микропластик: волокна черного, синего и красного цвета, а также фрагменты зеленой краски, предположительно являющиеся краской с судна. В ЖКТ плотвы волокна встречались в единичном экземпляре или отсутствовали. На данный момент было проанализировано 25 % частиц методами спектроскопии комбинационного рассеяния света, однако спектры обнаруженных волокон не удалось определить из-за их сильной флуоресценции. Флуоресценция может быть связана с наличием красителя, который используется для окраски волокон.

Таким образом, впервые опробована методика по изучению содержания микропластика в ЖКТ рыб Ладожского озера на примере корюшки и плотвы. Работы будут продолжены для получения большего объема данных и улучшения эффективности методики.

Оценка качества воды и трофического статуса озера Виштынецкого по показателям фито- и зоопланктона в период с 2017 по 2023 годы

Казакова Е.Ю.^{1*}, Семенова А.С.²

¹ *Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), г. Калининград*

² *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок (Ярославская обл.)*

*e-mail: ekkazur@gmail.com

Озеро Виштынецкое – единственный олиготрофный водоем ледникового происхождения, располагающийся на территории Калининградской области. Его площадь составляет более половины общей площади всех озёр и прудов области, а глубина достигает 54 м. Благодаря своим гидрологическим особенностям, озеро обладает высокими показателями качества воды и хорошей способностью к самоочищению. Несмотря на это, с 1980-х годов были отмечены первые признаки эвтрофирования в южной части озера. Также в водоем поступают в сравнительно небольших количествах бытовые и сельскохозяйственные стоки. К настоящему времени трофический статус всей акватории озера Виштынецкого оценивается как олиготрофный, переходящий в мезотрофный, особенно в литоральной зоне.

С целью наблюдения за изменениями экологического состояния столь уникального водного объекта была проведена оценка качества воды и трофического статуса прибрежной зоны озера Виштынецкого в период с 2017 по 2023 гг. по показателям фито- и зоопланктона.

Станция отбора проб располагается у истока реки Писса в открытой прибрежной зоне с глубинами до 0.5 м. Отбор и анализ проб проводился согласно стандартным методам гидробиологического анализа [1]. Для оценки качества воды и трофического статуса по фитопланктону проводился расчет индекса сообщества Q, показателя экологического качества воды (Ecological Quality Ratio (EQR)), индекса сапробности по численности и биомассе видов индикаторов [2]. Для оценки трофического статуса и качества воды Виштынецкого озера были использованы следующие показатели зоопланктона: коэффициент трофии (E), показатель трофии (E/O), индекс сапробности (ИС), рассчитанный по методу Пантле и Букк в модификации Сладечека, численность и биомасса зоопланктона [3].

По показателю экологического качества (EQR) качество воды озера варьировало от «хорошего» в 2017 и 2019 гг. до «высокого» в 2018, 2020–2021 гг. По шкале качества воды системы сапробности качество воды изменялось от «чистая» с 2017 по 2020 гг. до «очень чистая» с 2021 по 2023 гг.

По структурным показателям зоопланктона, таким как коэффициент трофии, показатель трофии, численность и биомасса, Виштынецкое озеро в период исследований можно оценить как олиготрофное. По показателю сапробности воды Виштынецкого озера можно охарактеризовать как олигосапробные или чистые. При

проведении анализа была выявлена тенденция сохранения высоких показателей качества воды и олиготрофного статуса озера Виштынецкого.

Литература

- [1] Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / под ред. Ф. Д. Мордухай-Болтовского. М.: Наука, 1975. С. 73–91.
- [2] Семенченко В.П., Разлуцкий В.И. Экологическое качество поверхностных вод / 2-е изд., испр. М: Белорусская наука, 2011. 329 с.
- [3] Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Влияние рыбоводства на окружающую среду: исследование донных отложений Ладожского озера

Лапенков А.Е.* , Гузева А.В., Зарипова К.М.

Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: lapa13art@gmail.com

В последнее время внимание ученых и экологов всё чаще обращается к воздействию рыбоводства на экосистемы водоёмов. Одним из таких объектов исследования стало Ладожское озеро, самое большое озеро Европы, где расположено более 20 садковых рыбоводных хозяйств [1].

Целью данного исследования было изучение изменений содержания органического вещества и физико-химических параметров (рН и Eh) в осадках непосредственно под садковымиделями радужной форели в разные сезоны года. Отбор проб осуществлялся в периоды активного и пониженного кормления рыб, что позволяло оценить воздействие этих факторов на состояние осадков.

Исследователи обнаружили, что органический материал от рыбных ферм скапливается непосредственно под садками. Зимой этот слой уплотняется и частично минерализуется, что приводит к уменьшению его толщины и содержания органического вещества. Важным результатом стало обнаружение сильно восстановительных условий в осадках, что может способствовать образованию токсичных газов и высвобождению потенциально токсичных элементов в воду. Такие изменения создают риск формирования аноксической среды в осадках, негативно влияющей на водные экосистемы и живущие в них организмы. Особенно уязвимыми оказываются бентосные и планктонные организмы.

Исследование подчеркивает необходимость регулярного мониторинга состояния осадков и их физико-химических параметров, особенно в водоёмах с низкой скоростью

водообмена. Результаты исследования служат важным напоминанием о том, что геохимические исследования играют ключевую роль в предотвращении и минимизации воздействия загрязнённых осадков на водные экосистемы.

Исследование подчеркивает необходимость регулярного мониторинга состояния осадков и их физико-химических параметров, особенно в водоёмах с низкой скоростью водообмена. Результаты исследования служат важным напоминанием о том, что геохимические исследования играют ключевую роль в предотвращении и минимизации воздействия загрязнённых осадков на водные экосистемы.

Литература

[1] Lapenkov A. et al. The seasonal dynamics of geochemical characteristics of sediments in the impact zone of the fish farm (Lake Ladoga, Russia) // Aquac. Fish. 2023. Vol. 8, № 6. P. 654–660.

Проблемы разработки теории эволюции гидроэкосистем

Лопух П.С.

Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

e-mail: lopuch49@mail.ru

Общеизвестен принцип эволюционного эквивиального развития водоемов замедленного водообмена, согласно которому конечным результатом их развития и трансформации является формирование качественно нового водного объекта – болота. В гидрологической научной литературе рассматриваются отдельные процессы, в разной степени влияющие на гидроэкосистемы и их трансформации. Так, например, озера изучаются с целью восстановления природных ландшафтов на водосборе на разных этапах эволюции, процесса эвтрофирования, формирования качества воды, осадконакопления, развития жизни в водной среде в условиях слабого или замедленного водообмена. Водохранилища исследуются с позиций оценивания их взаимодействия с окружающей природной средой, повышения эффективности их рационального использования. В конечном итоге, изменяя географическое пространство, обосновывается их «вписание» в природную среду как природно-антропогенных объектов.

Региональные исследования развития лимносистем приледниковых водоемов и озер ледникового происхождения Беларуси в голоцене позволяет на фоне их развития рассматривать особенности трансформации или эволюции природно-антропогенных водных экосистем (водохранилищ, прудов, карьерных водоемов). Научной основой развития естественных водоемов является генетический эволюционный ряд их

природной трофикации: олиготрофный, мезотрофный, эвтрофный различного статуса и дистрофный типы. В этом плане современная лимнология достигла определенных теоретических результатов. Исключение составляет недостаточная изученность трансформации озерных котловин, прибрежной и литоральной зон, естественного берегового процесса, морфологических элементов, схем зарастания ложа. В общем виде косвенно эти аспекты компенсируются показателем формы озерной котловины.

Искусственные водные объекты, возникающие в географическом пространстве практически мгновенно, демонстрируют динамику современных процессов вживания в равновесную природную среду. Замедление стока и эффект подпора придают вновь образовавшимся водным системам новые специфические эволюционные процессы, происходящие на наших глазах, существенно дополняя современные научные представления об эволюции озер. В отличие от озер, результаты исследования гидроэкосистем водохранилищ базируются на стационарных и экспедиционных исследованиях. По их результатам можно судить о процессах, происходивших на озерах в начале голоцена, на начальном этапе естественного эвтрофирования озер.

Оценивая в целом достижения в исследовании естественных и искусственных гидроэкосистем возникает необходимость создания единой эволюционной теории их поступательного развития. Для создания такой теории имеют место объективные причины необходимости создания теории, сходство разнотипных водоемов разного генезиса и возможности современной географической науки, отличающейся комплексным системным анализом.

Результаты исследования озер и водохранилищ на территории Беларуси, отдельных процессов позволили сформулировать основные положения эволюционного развития гидроэкосистем замедленного водообмена.

Разработка методов переработки сапропеля и получение биологически активных препаратов для различных отраслей

Митюков А.С.

Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: mitals@yandex.ru

Сапропели представляют собой донные отложения пресноводных водоемов, образующиеся в анаэробных условиях в результате физико-химических и биологических преобразований остатков отмершей водной растительности, остатков водных животных, а также частиц почвенного перегноя. На состав отложений большую роль оказывают минеральные и органические компоненты терригенного стока. Химический состав и свойства сапропелей из различных залежей достаточно сильно меняется, что обусловлено различными условиями осадконакопления,

продуктивностью материнского водоема, особенностями поверхностного стока и климатическими условиями. Все это способствует обширным исследованиям материала и большой перспективе его использования в различных отраслях промышленности. В сапропелях присутствуют все необходимые минеральные и органические вещества, биополимеры и природные поверхностно-активные вещества. Область применения различных продуктов, получаемых из сапропелей, обширна – начиная от удобрений, получения сорбентов и сырья для химической промышленности, заканчивая производством кормовых добавок, биостимуляторов и медицины.

Нами проводилась работа по совершенствованию технологии фракционирования гуминовых веществ сапропеля. В технологию выделения гуминовых кислот заложена их экстракция щелочным методом с использованием пирофосфата калия или натрия. В целях повышения эффективности процесса экстракции гуминовых веществ, нами проведены эксперименты, разработаны методы и технологии использования ультразвуковой кавитации раствора сапропеля для получения эффективных сапропелевых препаратов. Получен препарат – ультрадисперсная гумато-сапропелевая суспензия (УДГСС). Экспериментальные испытания его в производственных условиях дали высокие хозяйственно-экономические показатели.

Методом кислотной экстракции из УДГСС выделены фульвокислоты. В экспериментальных исследованиях в Новгородской области (Новгородский НИИСХ) на телках голштинской породы в результате проведенных исследований был определен положительный эффект от использования в рационах молодняка фульвокислоты. Изучено влияние на переваримость питательных веществ рационов, гематологические показатели крови, продуктивность, определена оптимальная доза скармливания фульвокислоты в данный возрастной период. Использование фульвокислоты в рационе молодняка позволило повысить усвоение питательных веществ из рациона, улучшить биохимические показатели крови, увеличить продуктивность на 19.8–25.6 %.

В пчеловодстве (эксперименты с Псковским НИИСХ) установлено достоверное влияние фульвокислоты на медовую продуктивность пчелиных отводков. За два учетных года в среднем в опытном варианте было получено по 10.2 кг товарного меда на один пчелиный отводок, что на 4.5 кг больше, чем на контроле. Фульвокислота может использоваться в пчеловодстве как стимулятор репродуктивной функции пчелиных маток и увеличения медовой продуктивности пчелосемей. По результатам исследований было установлено, что фульвокислота в дозе 0.2 мл/кг живой массы пчел положительно влияет на репродуктивную функцию пчелиных маток и способствует увеличению их яйценоскости на 22.5 %, а также увеличивает медовую продуктивность пчелиных отводков на 17.7 %, на второй год их жизни.

Экосистемы малых озер Северо-Запада Европейской России и климат: история, современное состояние и перспективы исследования проблемы

Рижинашвили А.Л.

*Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания и техники
им. С.И. Вавилова РАН, г. Санкт-Петербург*

e-mail: railway-ecology@yandex.ru

Проблема климатических изменений в биосфере Земли остро встала на повестке дня в XXI веке. Экосистемы малых озер, которые являются наиболее многочисленными водными объектами, особенно на Северо-Западе Европейской России, все еще плохо изучены с точки зрения их динамики численности фитопланктона. Являясь в определенной степени «придатками атмосферы», они в полной мере испытывают на себе воздействие даже кратковременных погодных колебаний. Довольно общим местом в водной экологии является утверждение об усиливающемся эвтрофировании (по крайней мере, в отношении увеличения частоты и интенсивности «цветения» воды) в ответ на повышение температуры (или более обще – потепления климата). Вместе с тем, результаты исследований не дают однозначного ответа, можно ли говорить о четком тренде на повышение уровня развития фитопланктона в современных условиях, а также какую роль здесь играют отдельные метеорологические факторы (в особенности, важнейшие из них – температура и осадки). Этот вопрос имеет длительную историю и возник задолго до того, как гидробиологи стали всерьез рассматривать глобальные проблемы климатических изменений в гидросистемах.

Сезонная периодичность развития планктона (и, в частности, фитопланктона) привлекала внимание гидробиологов еще на рубеже XIX–XX вв. Вполне сформировалось представление о «календаре» появления тех или иных водорослей в планктоне, общие черты которого сохраняют значение до настоящего времени. Среди факторов периодичности температура не всегда рассматривалась специалистами как имеющая первостепенное значение. Зачастую осадки указывались как ведущий фактор продуктивности, поскольку именно за счет них осуществляется связь водоема и водосбора, в частности, путем поступления частичек почвы и минеральных солей. К рубежу 1920–1930-х гг. возникло вполне определенное мнение о совокупном влиянии нескольких факторов (не только погодных) на продуктивность водного объекта, при этом нужно учитывать, как особенности водоема в целом, так и условия конкретного года.

За прошедший почти век картина наших знаний о ведущих факторах контроля уровня развития фитопланктона в пресных водах изменилась слабо. Работы второй половины XX века были связаны в основном с анализом влияния биогенных элементов. В эти десятилетия укрепилась так называемая «фосфорная парадигма». Лишь в последнюю четверть века климатические проблемы в отношении водных экосистем

стали в полной мере выходить на передний план. Результаты этих исследований противоречивы: какие-то водоемы подвергаются усиливающемуся эвтрофированию, а какие-то, напротив, демонстрируют признаки де-эвтрофирования и даже перехода к олиготрофному состоянию. Очевидно, что при интерпретации происходящих изменений необходимо учитывать таксономический состав фитопланктона, а также то, что водосборная территория является фильтром, модифицирующим проявление климатического сигнала за счет ряда вторичных явлений (например, браунификации).

Материалы собственных многолетних исследований автора доклада на модельном озере, расположенном на Карельском перешейке в Ленинградской области, указывают на циклический характер колебаний трофического статуса, обусловленный водным режимом самого озера. Предполагается, что ведущую роль на развитие фитопланктона в малых мелководных озерах оказывают осадки, а не температура. Более того, необходимо принять во внимание период водообмена озера, определяющий длительность и частоту флуктуаций фитопланктона.

Опыт применения ультразвуковых устройств для борьбы с цианобактериальным цветением воды

Рыбакин В.Н.^{1*}, Коровин А.Н.¹, Капустина Л.Л.¹, Станиславская Е.В.¹, Дашевский В.П.²

¹ *Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург,*

² *Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

e-mail: v.n.rybakin@gmail.com

Начиная с 2016 г. на прудах Московского Парка Победы г. Санкт-Петербурга были испытаны несколько вариантов ультразвуковых устройств с целями борьбы с цианобактериальным «цветением» воды, разработанных в Институте озераедения РАН. На прудах была испытана автономная станция и несколько вариантов стационарных устройств. Стационарные ультразвуковые устройства были защищены от несанкционированных повреждений, для чего устанавливались под поверхностью воды и в течение всего вегетативного периода развития цианобактерий излучали в воду акустический сигнал малой интенсивности в диапазоне частот 40–200 кГц, который безопасен для других биотических сообществ водоемов.

В 2023 г. испытаны три модифицированных опытных образца ультразвуковых устройств, которые разработаны и изготовлены совместно сотрудниками ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН и СПИИРАН – СПб ФИЦ РАН. Они были установлены в Капитанском, Матросском и Детском прудах Московского Парка Победы и питались с берега по проложенным по дну водоемов кабелям с постоянным напряжением 14 В. Корабельный

пруд использовали в качестве контрольного. Ультразвуковое поле малой интенсивности, излучаемое разработанными ультразвуковыми устройствами, привело к снижению концентрации и блокированию дальнейшего роста в них цианобактерий по сравнению с контрольным прудом, но при этом не влияло на другие биотические сообщества малых экспериментальных водоемов. Лабораторный анализ биологических проб из прудов полностью подтвердил правильность разработанных и реализованных научно-методических решений.

Перспективы охраны экосистемы озера Байкал с учетом мирового опыта

Сутурин А.Н.

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

e-mail: san@lin.irk.ru

Признание оз. Байкал участком Мирового природного наследия, принятие Федерального закона «Об охране озера Байкал» и ряда подзаконных актов не улучшило экологическую ситуацию на озере. Исследование биогеохимических процессов в литоральной зоне оз. Байкал показало, что к объектам, представляющим угрозу экосистеме озера, добавляются новые, обусловленные отсутствием эффективной природоохранной инфраструктуры. Запретительные нормы без контроля исполнения, мониторинг без создания эффективных очистных сооружений, имитация экологических проектов без применения лучших инженерно-экологических решений привели к тому, что оз. Байкал из Участка Мирового природного наследия ЮНЕСКО превращается в Участок, находящийся под угрозой. Литоральная зона озера Байкал подвержена влиянию антропогенной деятельности. Расположенные в береговой зоне оз. Байкал промышленные предприятия, рекреационные объекты и поселения влияют на озерные экосистемы не только в локальных участках сброса вод, но и по всему побережью за счет площадного смыва загрязнений ливневыми водами, субаквальной разгрузки бытовых сточных вод и разноса течениями вдоль берега. Для экологического мониторинга литоральной зоны оз. Байкал применялся комплекс инструментальных методов: электротомография, бурение скважин с отборами грунтовых вод, полиэлементный анализ вод на ISP-MS, биогеохимические исследования, гидробиологические водолазные работы, микробиологический и АТФ анализ вод.

Охрана и восстановление экосистем озер в мире имеет многолетнюю положительную и отрицательную историю. На состояние экосистем озёр оказывают влияние кислотные дожди, нерегулируемая рекреация, изменение уровня воды, промышленные и бытовые стоки, интродукция и уничтожение растений и животных. Устранение этих факторов – предмет деятельности инженерной экологии, которая

предполагает предупреждение эфтрофикации озер, регулирование уровня воды, снижение закисления озер, загрязнения экооксидантами. Из многих озер мира, на которых проводились восстановительные работы, хороший результат получен на озере Анси (Франция) и оз. Вашингтон (США). Возможностям использования опыта охраны альпийских озер был посвящен наш многолетний цикл исследований.

Основное значение придается мониторингу прибрежных зон, как источнику загрязнений, и литорали, наиболее уязвимому участку акватории озера. Отбор наилучших технологий должен вестись с учетом их применяемости в жестких условиях Центральной экологической зоны озера Байкал, результативности и стоимости. Только комбинация традиционных способов обработки воды с процессами адсорбции, окисления и мембранной ультрафильтрации обеспечивает высокое качество очистки воды, соответствующее требованиям байкальского природоохранного законодательства. Важное значение имеет обеззараживание сточных вод, которые являются основным источником микробиологического загрязнения озера Байкал. Существует несколько подходов к защите озёр от загрязнения бытовыми стоками: 1) отвод стоков за пределы озера (оз. Тахо, оз. Вашингтон США), для байкальских городов и поселков такой возможности нет; 2) создание системы сбора сточных вод со всех объектов водосборного бассейна озера (примером может служить город с одноимённым озером Анси). На Байкале этот способ применим только к п. Листвянка и порту Байкал. Преимущество имеют очистные сооружения с преобладанием физико-химических методов очистки и промежуточным сбросом очищенных стоков в биопруды.

Исследования содержания и вертикального распределения микропластика в водной толще Ладожского озера

Тихонова Д.А.^{1*}, Каретников С.Г.¹, Иванова Е.В.²

¹ *Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург,*

² *Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины
федерального медико-биологического агентства*

*e-mail: tdasha94@mail.ru

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН проводит исследования содержания микропластика в Ладожском озере с 2018 года. За этот период были проведены работы по изучению горизонтального и вертикального распределения микропластика в водной толще Ладоги, а также его содержания в различных типах донных отложений. Работы, проведенные в 2018–2021 гг., позволили получить информацию о пространственном распределении микропластика в поверхностном слое озера: более высокие концентрации микропластика были обнаружены вблизи

урбанизированных территорий. Однако оценивать содержание микропластика в водоеме только по данным с поверхностного слоя является недостаточным, в связи с тем, что подобные измерения не позволяют получить информацию о поведении микропластика в водной толще. В настоящее время существует довольно мало работ, посвященных вертикальному распределению микропластика, и в большинстве из них исследуются моря и океаны, в то время как в озерах эти процессы исследованы крайне мало. Такие исследования также приобретают особое значение в условиях крупных пресноводных объектов, имеющих значительные глубины.

Были проведены работы по отбору и анализу проб воды с различных водных горизонтов Ладожского озера (от поверхностного слоя до 70 м.) В ходе работ была выдвинута гипотеза о влиянии гидрофизических условий на распределение микропластика в водном столбе. Было сделано предположение, что в условиях прямой плотностной стратификации с наличием сформировавшегося слоя температурного скачка в данном слое из-за высокого градиента плотности может накапливаться микропластик. В результате проведенных работ были обнаружены статистически значимые различия в концентрациях микропластика при различных гидрофизических условиях. При равномерном распределении температур по всей водной толще (гомотермии) в условиях свободной конвекции различия между содержаниями микропластика в поверхностном слое и водной толще оказались незначимы. В условиях прямой плотностной стратификации и наличия слоя температурного скачка были обнаружены значимые различия в распределении концентраций микропластика над и под данным слоем. Работы будут продолжены в летний и зимний гидрологические сезоны в условиях устойчивой плотностной стратификации озера.

Туралинские озера Дагестана: история освоения, изучения и проблемы сохранения

Шапоренко С.И.^{1*}, Абдурашидов А.М.²

¹ *Институт географии РАН, г. Москва,*

² *НКО “АП РД”, г. Махачкала*

*e-mail: ser-shaporenko@yandex.ru

Озера Большое и Малое Турали – бывшие плоскодонные лагуны Каспийского моря, окончательно отчленившиеся от него в последнюю фазу новокаспийской трансгрессии. При высоком стоянии уровня моря в 1930-е гг. при сильных нагонных ветрах заплески морских волн попадали в чашу ближайшего к нему оз. Б. Турали. Сейчас береговая линия моря отошла примерно на 2 км. Наиболее ранние сведения об озерах можно получить по картам конца XIX в., а первые инструментальные наблюдения приходится на 1920-е гг. [1]. Естественное состояние озер в условиях засушливости климата и небольших по площади водосборов – пересыхание летом и фрагментарное заполнение плоскодонных чаш в холодный период года. При полном их наполнении, что возможно при искусственной подаче воды, глубины озер достигают 1.2–1.5 м, а площади по данным Росреестра составляют 4.8 и 1.7 км² (ранее достигали 6.7 и 2 км²). Существование в пограничной зоне моря и суши с ограниченным водообменом определило формирование донных отложений, богатых органическим веществом, а вдоль берегов – небольших месторождений соли, которыми местные жители пользовались с древних времен соответственно в лечебных и пищевых целях.

Начиная с 1928–1930-х гг. озера постепенно из природных объектов были преобразованы в природно-техногенную гидросистему. Сначала на их базе был организован солевой промысел с передовой на тот момент технологией. С 1970-х гг. начали предпринимать попытки использовать их для выращивания рыбы, при этом периодически намереваясь разрабатывать ценные донные отложения с лечебными свойствами. Продолжавшиеся полвека попытки трудно назвать успешными ввиду постоянного недоучета природных и антропогенных проблем. К ним нужно отнести особенности аридного климата, отсутствие гарантированного источника водоснабжения (ориентация в основном на водные ресурсы р. Сулака), мелководность озер, грубые нарушения водоохранных правил. Разрешение проблем тормозит игнорирование водным законодательством, которое в основном ориентировано на гумидную климатическую зону страны, особенностей бессточных пересыхающих водоемов.

С севера к озерам примыкают южные окраины г. Каспийска, что создает дополнительные экологические проблемы, связанные с поглощением озерных экосистем расширяющейся селитебной инфраструктурой. В 2016 г. была инициирована и якобы завершена работа по выделению водоохранных зон. На самом деле границы на

местности не выделены, идет продажа земельных участков даже с захватом полос общего пользования. С обжитых участков при отсутствии канализации сточные воды без очистки поступают в водоемы. Анализ сложившейся ситуации позволил предложить несколько вариантов сохранения озер в качестве природных объектов, которые должны быть откорректированы согласно текущим изменениям окружающей обстановки.

Работа выполнена по теме Государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0007 (1021051703468-8).

Литература

[1] Ильинский В.П., Клебанов Г.С. Теоретические схемы использования богатых сульфатами морских и озерных рассолов и их опытно-промышленное испытание. Л.: Изд-во АН СССР, 1934. 75 с.

СЕКЦИЯ 2 – ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ИХТИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЗЕР

Оценка роли инвазивных амфипод в межгодовых изменениях сообществ макрозообентоса литоральной зоны Ладожского озера

Барбашова М.А.^{1*}, Трифонова М.С.¹, Курашов Е.А.^{1,2}

¹ Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок (Ярославская обл.)

* e-mail: mbarba@mail.ru

В Ладожском озере площадь литоральной зоны (зоны произрастания высшей водной растительности до глубин 8 м) составляет 2543.0 км² (14.3 % от площади водоема), объем ее водной массы – 9.67 км³ (1.1 % от объема воды озера) [1]. Эта зона является переходной между наземной и водной экосистемами, она характеризуется специфическими чертами гидрологического и гидрохимического режимов, богатством видового состава и высокой биологической продуктивностью. Исследования последних десятилетий, показали, что в пределах литоральной зоны большое значение имеют чужеродные виды, среди которых первое место принадлежит амфиподам. К настоящему времени в озере зарегистрировано 4 вида инвазивных амфипод. Из них 2 вида байкальского происхождения – *Gmelinoides fasciatus* Stebbing, 1899 и *Micruropus possolskii* Sowinsky, 1915 и 2 вида понто-каспийского происхождения – *Pontogammarus robustoides* (Sars, 1894) и *Chelicorophium curvispinum* (Sars, 1895).

В настоящей работе представлены данные по количественному развитию, структуре, особенностям распределения макрозообентоса в зарослях высшей водной растительности по всему периметру Ладожского озера в 2019 г. Проанализирована межгодовая изменчивость донных сообществ в литорали озера.

В 2019 г. численность макрозообентоса изменялась от 392 до 49800 экз./м², биомасса от 0.17 до 77.13 г/м². Суммарная численность в среднем по озеру составила 7100±1652 экз./м², а биомасса – 16.72±3.28 г/м². Донные биоценозы разнообразны по составу и соотношению отдельных таксонов в общей численности и биомассе. В среднем преобладали амфиподы, их доля составляла 43% и 49% соответственно. При этом отмечалась приуроченность разных видов амфипод к различным районам озера. Наиболее широко в озере представлен *G. fasciatus* (встречаемость – 94 %). Его численность варьировала от 8 до 23220 экз./м², биомасса – от 0.01 до 31.32 г/м². *M. possolskii* встречался (29 %) от участка в шхерах в заливе напротив о. Койеонсари, вдоль западного побережья и до участка в районе п. Назия в бухте Петрокрепость. На

различных биотопах его численность изменялась от 40 до 3136 экз./м², биомасса от 0.21 до 18.39 г/м². Понто-каспийские виды *P. robustoides* и *C. curvispinum* регистрировались только в Волховской губе. Встречаемость обоих видов составляла 11 %. Плотность популяции и биомасса *P. robustoides* (80–4880 экз./м², 0.68–19.58 г/м²) были довольно высоки. Численность *C. curvispinum* варьировала от 20 до 11293 экз./м², а биомасса от 0.02 до 12.43 г/м².

В 2019 г. наблюдалось снижение уровня развития зообентоса по сравнению с 2014 г. (11714±1577 экз./м², 36.49±8.63 г/м²). Отмечалось достоверное уменьшение средних значений общей численности и биомассы макрозообентоса, олигохет, хирономид, а также уменьшение численности пиявок. В северном шхерном районе озера снизились численность и биомасса всего зообентоса, а в южном районе – биомасса амфиподы *P. robustoides*.

Исследования 2019 г. показали значительные пространственные и временные различия в распределении количественных характеристик макрозообентоса в озере, которые связаны с большим разнообразием литоральных местообитаний и воздействием факторов различной природы. Необходимо продолжать регулярные наблюдения над протеканием процессов распространения и развития чужеродных видов в Ладожском озере, поскольку биоинвазии являются фактором, способным привести к изменениям в структуре и функционировании прибрежных биоценозов.

Литература

Науменко М.А. Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Известия РАН. Серия Географическая, 2013. №1. С. 62–72.

Зообентос озерно-речных систем западного берега Ладожского озера

Беляков В.П.

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург

e-mail: victor_beliakov@mail.ru

Исследования зообентоса проводились в весенний, летний и осенний периоды 2019–2023 гг. в нескольких озерно-речных системах Ладожского бассейна (Вуокса, Морья, Авлога, Семужья и др.), расположенных на Карельском перешейке. Был определен видовой состав, структура и функциональные характеристики сообществ зообентоса и прослежены зависимости этих характеристик от природных и антропогенных факторов. На основе полученных данных по зообентосу оценено экологическое состояние отдельных озерно-речных систем и их возможное влияние на экосистему Ладожского озера.

Видовой состав зообентоса озерно-речных систем Карельского перешейка в целом не характеризует специфику отдельных ландшафтов, поскольку большинство массовых видов современной фауны имеют широкий диапазон адаптаций к различным условиям среды и различия можно выявить на основе встречаемости видов второго ряда или редких видов в фаунистических списках. В целом было обнаружено более 230 видов донных беспозвоночных, представляющих более 50 крупных таксонов, не ниже семейства. Наиболее разнообразны представители класса насекомых: отряда Diptera, особенно сем. Chironomidae, отрядов Trichoptera и Ephemeroptera. Также разнообразны черви кл. Oligochaeta.

Связь состава, структуры и количественного развития зообентоса с особенностями ландшафтов прослеживается через действие таких факторов как минерализация и гумификация вод. Отмечена нелинейная обратная зависимость видового богатства и степени доминирования зообентоса от степени цветности водоемов.

Количественные и продукционные характеристики сообществ зообентоса озер определяются, главным образом, трофическим уровнем озер, а в некоторых случаях антропогенными факторами. Причем если для зообентоса озерной профундали важны морфометрические показатели водоема, то структура и количественное развитие зообентоса в литоральной зоне озер и в водотоках определяются характеристиками биотопов, а, следовательно, в определенной степени, зависят от особенностей ландшафта и прямым антропогенным влиянием.

Некоторые особенности сезонной динамики зообентосных сообществ в разных системах проявляются там, где отмечены крайние значения природных факторов, или антропогенное влияние.

В настоящее время, кроме процессов эвтрофирования и загрязнения, существенным фактором для водных экосистем является гумификация. Влияние условий высокой цветности воды приводит к снижению скорости роста беспозвоночных и ограничению числа генераций у полициклических видов, что, в целом, снижает общие количественные показатели бентосных сообществ и их участие в процессах самоочищения. Характеристики бентосных сообществ в замыкающих створах водотоков, впадающих в Ладожское озеро, в целом соответствуют чистым, или условно-чистым водам. Хотя в среднем течении главных водотоков, или в некоторых вторичных системах притоков р. Вуоксы отмечены показатели загрязнения, о чем говорят индексы, рассчитанные на основе данных о зообентосе.

Получены ориентировочные величины участия бентосных сообществ в самоочищении водоемов и водотоков, причем доля зообентоса в процессах суммарной деструкции не превышает 4 %, и на порядок ниже при антропогенном загрязнении.

Состав и экология доминирующих видов фитопланктона уникальных карстовых озер Нижегородской области

Воденеева Е.Л.^{1*}, Шарагина Е.М.¹, Кулизин П.В.¹, Старцева Н.А.¹, Журова Д.А.^{1,2}, Соснина А.С.¹, Гаврилко Д.Е.¹, Жихарев В.С.¹, Охалкин А.Г.¹

¹ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

² Нижегородский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («НижегородНИРО»), г. Нижний Новгород

*e-mail: vodeneeva@mail.ru

В работе проанализированы доминирующие комплексы фитопланктона уникальных карстовых озер Нижегородской области. Озера Ключик и Вадское – редкий тип гипсовых высокоминерализованных «голубых» озер. Они уникальны в плане источника питания, роль которого выполняет подземная река с высоким расходом воды. В месте разгрузки подземных вод акватория этих озер имеет стабильно низкие температуры (от +4 до +11°C) и в зимний период не замерзает. Озера Святое Дедовское и Светлояр – светловодные, слабоминерализованные гидрокарбонатного класса с нейтральными или слабокислыми значениями рН (5.45–6.94). Водоемы питаются талыми и дождевыми водами. Все озера относятся к особо охраняемым природным территориям, имеют сильную рекреационную нагрузку.

Исследования фитопланктона в оз. Светлояр проводились в период с 2000–2002, 2010–2012 и 2020 гг.; в оз. Ключик – в 2017 и 2020 гг.; в оз. Вадское – 2021 и 2022; в оз. Святое Дедовское – в 2020 и 2021 гг. Пробы отбирались по сетке станций, установленной с учетом гетерогенности условий. Сбор и обработка проб проводились общепринятыми методами. К доминирующим видам относили таксоны с численностью и биомассой более 10 % от суммарных показателей.

Развитие фитопланктона в большинстве озер было слабым, за исключением оз. Ключик, где отмечались уникально высокие (до 130 г/м³) для водоемов бассейна Средней Волги значения биомассы. В условиях низкого температурного фона, высокой минерализации и хорошей освещенности в этом озере формировались моно- или олигодоминантные диатомовые комплексы с превалированием редкого вида – *Cyclotella distinguenda* Hustedt. Фитопланктон прогреваемой части озера характеризовался пестрым составом доминант и усилением роли фитофлагеллят (до 50–70 % общей биомассы) – виды родов *Cryptomonas*, *Peridinium*, *Ceratium hirundinella* (O.F.Müll.) Dujardin. В оз. Вадское доминантами по биомассе (до 99 %) были пеннатные диатомеи (представители рода *Ulnaria*) при сопутствии фитофлагеллят – золотистых, динофитовых, среди последних в комплексе ценозообразующих видов отмечена редкая для волжского бассейна водоросль *Borghiella* cf. *tenuissima* (Lauterborn) Moestrup, Gert Hansen & Daugberg. В гидрокарбонатных озерах чаще отмечалось преобладание крупноклеточных динофлагеллят (*Peridinium*, *Ceratium*), вместе с ними развивались мелкоклеточные зеленые водоросли; в оз. Св. Дедовское также ацидофильные

десмидиевые и диатомеи (*Tabellaria fenestrata* (Lyngb.) Kütz.), что связано с заболоченностью водосбора. В аномально жаркие годы с антициклональным типом погоды в оз. Светлояр отмечались высокие значения биомассы фитопланктона (до 32.9 г/м³) за счет интенсивного «цветения» воды diaзотрофными цианобактериями (*Dolichospermum*, *Microcystis*).

Сравнительный анализ (по коэффициенту Сёренсена-Чекановского) состава доминирующих комплексов фитопланктона, показал статистически значимую низкую степень их сходства. Это может свидетельствовать о своеобразии ценогенеза водорослей в каждом из изученных озер, обусловленном влиянием определенной комбинации факторов.

Фитопланктон водной системы Валаамского архипелага

Воякина Е.Ю.

Биологический факультет СПбГУ, г. Санкт-Петербург

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: katerina.voyakina@gmail.com

Исследования фитопланктона водной системы Валаамского архипелага проводятся на протяжении последних 27 лет. За это время получена информация о структурно-функциональных характеристиках фитопланктона, изучены продукционные особенности озер, выявлены факторы среды, определяющие эти процессы.

Валаамский архипелаг расположен в северной ультрапрофундальной зоне Ладожского озера, наименее подверженной влиянию вод притоков. Водная система архипелага состоит из трех зон, различающихся по гидрологическим и гидрохимическим параметрам. В нее входят: разнотипные малые лесные озера, оз. Сисяярви – самый крупный проточный водоем и побережье архипелага, расположенного в глубоководной части Ладожского озера.

Прибрежная зона архипелага включает открытые участки, бухты и протоки между островами. Разнообразие биотопов и значительные перепады глубин – особенности исследуемой акватории. Основные черты термического и гидрохимического режимов прибрежной зоны Валаамского архипелага сходны с процессами, идущими в глубоководной части Ладожского озера.

Для озер был выявлен широкий диапазон ряда лимнологических параметров, таких как прозрачность (0.3–2.2 м), активная реакция среды рН (4.0–8.6), цветность воды (55–296° по Cr - Co шкале), содержание общего органического вещества (13.3–63.8 мгО/л) и минерального фосфора (0.001–0.646 мг/л) [1].

В целом для водной системы численность изменялась от 0.1 до 676.6 млн. кл/л, биомасса от 0.1 до 82.3 мг/л. Внутри разных зон водной системы диапазон структурных показателей различался. По показателям обилия в прибрежной зоне Ладожского озера доминировали диатомовые, криптофитовые водоросли и цианобактерии. В большинстве малых озер доминировали цианобактерии (по численности) и рафидофитовые (по биомассе) водоросли. В кислотных полигумусных озерах было отмечено упрощение структуры фитопланктона. В них в течение всего сезона доминировали представители отдела зеленых водорослей.

При анализе факторов среды, влияющих на пространственную неоднородность фитопланктона в разные годы в прибрежной зоне Ладожского озера в районе Валаамского архипелага, было показано, что наибольшее влияние оказывают уровень воды, прозрачность и температура воды. В то время как в малых озерах основными факторами были площадь удельного водосбора, глубина водоема, прозрачность воды, цветность, электропроводность и содержание биогенных элементов. Интенсивность влияния водосбора на озерные процессы менялась год от года и зависела, в том числе и от количества осадков.

Литература

[1] Воякина Е.Ю. Сукцессия фитопланктона озер Валаамского архипелага // Вопросы современной альгологии. 2021. № 2 (26). Р. 24–28.

Структура сообществ зоопланктона солоновато-водного карстового озера Ключик (Нижегородская область)

**Гаврилко Д.Е. *, Золотарева Т.В., Жихарев В.С., Старцева Н.А.,
Воденеева Е.Л., Шурганова Г.В.**

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

*e-mail: dima_gavrilk@mail.ru

Карстовое озеро Ключик является памятником природы Нижегородской области и обладает специфическими гидрологическим и гидробиологическим режимами. Уникальность озера определяется характером питания (водами подземной реки), а также сильными различиями гидрологических и гидрохимических параметров по его акватории. Оно относится к малым (площадь 11 га) солоновато-водным озерам с максимальной глубиной 13.5 м и незамерзающей западной частью, где температура воды в течение года колеблется от +4 до +11°C.

Исследования зоопланктона проводили в 2020 г. ежемесячно с июня по сентябрь на 6 пелагических и 4 литоральных станциях. Всего было собрано и обработано 40 проб зоопланктона. Сбор и обработку материала проводили общепринятыми в

гидробиологии методами. Параллельно с отбором проб были выполнены измерения глубины, прозрачности, температуры, рН, электропроводности воды, содержания растворённого в воде кислорода, процента проективного покрытия растениями биотопа. Пробы зоопланктона классифицировали с помощью кластерного анализа на основе сходства видовой структуры.

За период исследований воды озера характеризовались нейтральной и щелочной реакцией среды (рН изменялся от 7.06 до 8.77) и высокой электропроводностью (1675–2005 мкСм/см). Содержание растворённого в воде кислорода колебалось в диапазоне 3.08–13.97 мг/л.

В зоопланктоне озера было идентифицировано 112 видов (Rotifera – 64, Cladocera – 29, Copepoda – 19). На основе анализа видовой структуры были выделены сообщества зоопланктона, приуроченные к определенным зонам озёра. Зоопланктоценоз пелагиали западной части озера, подверженной действию подземной реки, характеризовался обедненным видовым составом с низким количественным развитием и преобладанием науплиальных стадий веслоногих рачков. В отличие от него, зоопланктоценоз пелагиали восточной части озера характеризовался повышенной численностью, биомассой и доминированием ветвистоусого рачка *Daphnia cucullata* Sars, 1862, веслоногого рачка *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863) и коловраток *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) и *K. quadrata* (O.F. Müller, 1786). Сообщества зоопланктона зарослей высших водных растений отличались от пелагических сообществ более высоким видовым богатством за счёт присутствия фитофильных видов коловраток и ракообразных. В зарослевых зоопланктоценозах доминировали науплиальные стадии веслоногих рачков, ветвистоусые ракообразные *Acroporus harpae* (Baird, 1834), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller, 1785), *Graptoleberis testudinaria* (Fischer, 1851), *Simocephalus vetulus* (O.F. Müller, 1776) и коловратки *Euchlanis dilatata* Ehrenberg, 1832 и *Trichotria pocillum* (O.F. Müller, 1776). В пелагической зоне обеих частей озера по численности и биомассе в течение сезона преобладали веслоногие ракообразные. В зарослевых зоопланктоценозах по численности преобладали веслоногие рачки, по биомассе – ветвистоусые ракообразные.

Таким образом, в оз. Ключик под действием ведущих гидрологических, гидрохимических и биотических факторов формировались специфические зоопланктоценозы.

Результаты инвентаризации ихтиофауны озер Соловецкого архипелага

Дворянкин Г.А.

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

e-mail: dga130157@gmail.com

Озерные системы являются одним из самых важных природных компонентов Соловецкого архипелага и определяют во многом его неповторимость. Изучение популяций обитающих там рыб имеет бесспорное научное значение для понимания проблем видообразования и расселения видов, экологической пластичности гидробионтов. Ещё одной особенностью рыбного населения архипелага является активное участие человека в ее формировании путем заселения водоемов новыми видами рыб. Соловецкие озера являются, пожалуй, единственными водоемами в истории рыбоводных работ, где число интродуцированных рыб превысило число аборигенных видов. По результатам ихтиологического мониторинга 2022–2023 гг., с привлечением архивных материалов и опросов местного населения, нами впервые была дана оценка эффективности акклиматизационных мероприятий и состояния изученности рыбного населения озер архипелага.

Аборигенная ихтиофауна внутренних водоемов архипелага представлена 9 видами рыб. С целью повышения продуктивности озер и качественного улучшения ихтиофауны, с XIX в. до 70-х годов XX в. предпринимались многочисленные попытки акклиматизации материковых видов. В ходе проведенных рыбоводных работ состав ихтиофауны соловецких озер претерпел значительные изменения. К настоящему времени общий список аборигенных и завезенных рыб включает 20 видов, из которых 11 видов являются интродуцентами с различной степенью акклиматизационного эффекта.

Удивительно при этом, что на такой небольшой территории по некоторым видам рыб нет достоверной информации об их наличии или отсутствии. В отношении самых ценных видов – стерляди, пеляди, а также линя и леща, есть только архивная или устная информация об их существовании. Например, местные жители утверждают, что в озерах раз в несколько лет в сети попадает стерлядь. В 2019 г., по достоверной информации, в оз. Святом, расположенном на территории поселка Соловецкий, была поймана стерлядь массой 6 кг. Так как последние 50 лет никто стерлядь на острова не завозил (а живет она не более 30 лет), то можно сделать вывод, что на Соловецком архипелаге обитает самовоспроизводящаяся популяция стерляди. Подтверждение этих данных могло бы стать настоящей сенсацией – единственная в мире островная популяция стерляди, неизвестная науке. Тоже можно сказать и о лине, который, по литературным данным, обитает в трех озерах архипелага, но пока в орудия лова рыбаков не попадал. Официально считается, что лень не встречается в бассейне

Северного Ледовитого океана. Ничего не известно о существовании на островах и леща, который рядом авторов, побывавших на архипелаге в конце XVIII в., был указан как местный озерный вид. Еще никто из ученых не видел в водах архипелага кумжи, которая тоже входит в список местной ихтиофауны. Присутствие этого вида косвенно подтверждает только обитающая в некоторых ручьях архипелага форель.

Изучение ихтиофауны озер Соловецкого архипелага будет продолжено.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда “Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты)” № 22-14-20045.

Фитопланктон верхнего и нижнего участков Ириклинского водохранилища в условиях межгодовых колебаний погодных и гидрологических факторов

Джаяни Е.А.

Саратовский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО»), г. Саратов

e-mail: dzhayaniea@saratov.vniro.ru

Искусственные водоемы характеризуются ярко выраженным градиентом морфометрических, гидрологических и гидрохимических показателей. Водный режим искусственных водоемов, помимо природных факторов, определяет хозяйственная деятельность человека. С целью выявления трансформации сообществ фитопланктона разнотипных участков водохранилищ в условиях межгодовой динамики погодных и гидрологических факторов проведены исследования в верхней и нижней зоне Ириклинского водохранилища. Водохранилище, созданное на р. Урал, руслового типа, водосбор – 36900 км², объем – 3.25 км³, площадь – 260 км², длина – 73 км, водообмен – 1 раз в 2 года.

В работе использованы данные, собранные весной, летом и осенью 2016–2019 гг. в верхней части водоема – Чапаевский плес (площадь 26 км², наибольшая ширина – 2 км, глубина – 15 м) и в нижней – Приплотинный плес (соответственно 3 км², 0.8 км и 36 м). Максимальная сумма атмосферных осадков за вегетационный период, весну и осень зарегистрирована в 2017 г., летом – в 2019 г., минимальная весной – в 2019 г., летом – в 2016 г., осенью – в 2018 г. [1]. Наибольший уровень воды и объем сброса обнаружены в 2017 г., объем притока – в 2016 г., а наименьшие показатели – в 2018 и 2019 гг.

В течение всего периода изучения количественные характеристики фитопланктона в верхнем участке были выше, чем в нижнем: удельное видовое богатство – в 1.3–9.2 раза, численность – в 1.2–5.1 раза, биомасса – в 3.2–18.3 раза.

Лишь осенью 2017 г. максимальная численность и биомасса наблюдались в Приплотинном плесе. Это связано с выраженным горизонтальным переносом питательных веществ в результате оптимального сочетания высокой суммы осадков, объема притока, максимального объема сброса.

Сумма осадков, объемы притока и сброса, уровень воды прямо и опосредованно оказывали влияние на сообщества как верхнего, так и нижнего участков. Весной 2018 г. численность и биомасса фитопланктона в Чапаевском плесе возрастали относительно других лет изучения при минимальном объеме сброса на фоне понижения уровня воды. Это обеспечивало концентрацию питательных веществ, поступающих с водами р. Урал, и их наименьший транспорт вниз по течению. В Приплотинном плесе весной 2018 г. формирование богатых количественных характеристик также связано с наименьшим объемом стока, благодаря чему здесь аккумулировались питательные вещества, поступившие в период половодья. Летом и осенью 2017 г. наибольшие количественные характеристики фитопланктона в Приплотинном плесе формировались, напротив, в условиях максимальных объемов притока и сброса, которые обеспечивало активный транспорт питательных веществ и фитопланктона с верхних участков водохранилища.

В целом, результаты работы показали, что наиболее выраженное влияние на увеличение количественной представленности фитопланктона Ириклинского водохранилища оказывает поступление питательных веществ с водосбора, определяемое суммой атмосферных осадков. Увеличение суммы осадков и объема притока усиливает эффект влияния повышения температуры воды и снижения уровня. Выявлено, что в верхнем и нижнем участках периоды максимального количественного развития фитопланктона не совпадают во времени и различаются по глубине изменений. Это зависит от степени влияния р. Урал, морфометрии плесов. В результате чего наибольшее количество статистически значимых изменений показателей фитопланктона во все сезоны характерно для верхнего участка водохранилища, наименьшее – для нижнего.

Литература

[1] Джаяни Е.А. Пространственно-временная динамика фитопланктона водохранилища семиаридной зоны в условиях значительных колебаний погодных и гидрологических факторов (на примере Ириклинского водохранилища): Автореферат дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2022. 24 с.

Основные итоги исследования альгоценозов озер Евро-Арктического Баренцева региона в последние десятилетия

Денисов Д.Б.

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Анапиты

e-mail: d.denisow@ksc.ru

Многолетние комплексные экологические исследования альгоценозов более 100 озер Евро-Арктического Баренцева региона (1992–2023 гг.) свидетельствуют о сравнительно высоком таксономическом разнообразии водорослей и цианопрокариот, во многом определяющим общий генофонд внутренних водоемов территории. При этом выявлены устойчивые тенденции современных сукцессий альгоценозов в ответ на антропогенные преобразования окружающей природной среды на фоне потепления климата Арктики [1].

Альгофлора большинства изученных озер региона сохраняет черты типичной арктической с преобладанием диатомовых и золотистых водорослей в составе сообществ, в то же время, отмечен некоторый рост доли зеленых, криптофитовых и цианобактерий в многолетнем ряду наблюдений. Было показано [2], что специфические природные условия озер арктической зоны формируют мощный потенциал для массового развития отдельных представителей альгофлоры при появлении благоприятствующих факторов: эвтрофикации вод, потепления климата, снижения токсической нагрузки и т.д.. Это приводит к отдельным явлениям эпизодического «цветения» вод, в том числе и токсичными цианопрокариотами (*Dolichospermum lemmermannii*). Отмечено увеличение случаев аномально высоких количественных показателей фитопланктона, при котором максимальные значения биомассы (до 84.4 г/м³) на несколько порядков превышают условно фоновые. Очаговый характер территориального формирования промышленной инфраструктуры привел к экстремальной антропогенной нагрузке на альгоценозы озер, расположенных в зонах интенсивного природопользования. Так, малые водоемы, подверженные многофакторной антропогенной нагрузке, отличаются наиболее резкими изменениями структурно-функциональных показателей сообществ фитопланктона от года к году. Это выражается в смене доминантных видов (в том числе и на уровне отделов) и резких колебаниях уровня биомассы, и свидетельствует о крайне нестабильных условиях развития фитопланктона.

Глобальный характер наблюдаемых изменений требует принципиально новых регионально-ориентированных схем оценки качества водных ресурсов, а также прикладных биогеохимических исследований, что актуализирует дальнейшее изучение озерных альгоценозов Евро-Арктического Баренцева региона.

Литература

- [1] Денисов Д.Б., Валькова С.А., Даувальтер В.А. и др. Лимнологические исследования Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН // Труды Кольского научного центра РАН, 2020. Т. 11(6–19). С. 68–86.
- [2] Sharov A., Denisov D. Algae of lakes in the European North of Russia / Lake water: properties and uses (case studies of hydrochemistry and hydrobiology of lakes in northwest Russia), Nova Science Publishers, Inc., 2021. P. 153–191.

Структурная организация сообществ зоопланктона долинного Можайского водохранилища (Московская область)

Жихарев В.С.^{1*}, Терешина М.А.², Соколов Д.И.², Ерина О.Н.²

¹ ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

² МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

*e-mail: zhigarev@ibbm.unn.ru

В настоящее время около половины крупнейших речных систем планеты зарегулированы плотинами. Гидроузлы с плотинами оказывают влияние на структуру и функционирование водных экосистем, изменяя их с лотических на лентические. Изучение структурной организации сообществ зоопланктона водохранилищ является актуальной гидроэкологической задачей.

Можайское водохранилище, долинного типа, расположенное на западе Московской области. Оно образовано в результате сооружения гидроузла на р. Москве. Полный объём водохранилища 235 млн м³, площадь при нормальном уровне 30.7 км², ширина до 3.5 км, длина 47 км, средняя глубина 7.7 м, максимальная до 22.5 м.

Исследования зоопланктона проводили раз в месяц в период с мая по сентябрь 2019 г. Станции отбора проб располагались в пелагиали вдоль продольного профиля водохранилища от речной зоны до приплотинного участка.

В составе фауны зоопланктона было идентифицировано 84 вида (Rotifera – 34; Cladocera – 33; Copepoda – 15). Распределение зоопланктона в водохранилище было неоднородным, как в пространственном, так и во временном аспекте. Все пробы разделились на две группы –собранные в теплый период (июнь и июль) и холодный (май, август и сентябрь). Основными факторами окружающей среды, которые определяли внутригодовые изменения видовой структуры сообществ зоопланктона выступали: температура воды (объясняла 7.2 % дисперсии видовой структуры), удельная электропроводность воды (10.4 %) и цветность воды (15.0 %).

В теплый период доминировали: *Daphnia cristata* Sars, 1862; *Thermocyclops crassus* (Fischer 1853); *Daphnia cucullata* Sars, 1862. В холодный период доминировали: *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850; *Conochilus unicornis* Rousselet, 1892. Более детальный

анализ видовой структуры гидробиоценозов в теплый период показал, что в акватории водохранилища выделяется три сообщества зоопланктона: сообщество речной зоны, переходное и озерное. Наиболее важными факторами окружающей среды в данный период исследований выступали удельная электропроводность (29.2 %) и мутность воды (20.0 %). В сообществе речной зоны доминировали – *D. cristata* и *B. longirostris*; переходном сообществе – *D. cristata* и *T. crassus*; озерном – *D. cucullata*, *T. crassus* и *Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars 1863).

В холодный период переходное сообщество формировалось только в мае и сентябре и занимало меньшую акваторию. Наиболее важными факторами окружающей среды в данный период исследований выступали электропроводность (37.5 %) и цветность воды (27.2 %). В сообществе речной зоны доминировали – *A. priodonta* и *B. longirostris*; переходном ценозе – *A. priodonta*, копепоидитные стадии веслоногих ракообразных и *C. unicornis*; озерном – *C. unicornis*, *A. priodonta*, *D. cucullate*, *Thermocyclops oithonoides* (Sars G.O., 1863) и копепоидитные стадии веслоногих рачков.

Важно отметить, что переходное сообщество зоопланктона, имело наибольшее (ANOVA, p -value ≤ 0.05) удельное видовое богатство, таксономическое разнообразие, численность и биомассу, и может характеризоваться как экотонное сообщество.

Работа выполнена в рамках НИР кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (госзадание №121051400038-1)

Зообентос Белого озера (Вологодская область) в 2010–2020 годах

Ивичева К.Н.^{1*}, Филоненко И.В.^{2}**

¹ Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Санкт-Петербург

² Вологодский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Вологда

*e-mail: ksenya.ivicheva@gmail.com

**e-mail: igor_filonenko@mail.ru

Белое озеро в настоящий момент является частью Шекснинского водохранилища (часть Волго-Балтийской водной системы). Озеро мелководное (средняя глубина 5 м), имеет блюдцеобразную форму. Центральная часть озера (около 70 %) выслана илами. Литораль преимущественно песчаная и подвержена сильной волновой активности. Заросли высшей водной растительности отмечаются только в устьях впадающих в озеро рек.

Исследования зообентоса проводились авторами в 2010–2020 гг. в профундали и литорали озера. В профундали озера пробы отбирались в осенний период. В литорали проводились подробные съёмки южной части озера. С 2015 г. осуществлялись

ежеквартальные наблюдения по станциям мониторинга. В общей сложности было отобрано и обработано 302 пробы зообентоса.

Всего в период 2010–2020 гг. в составе зообентоса оз. Белого было отмечено 114 видов и таксонов более высокого ранга. В центральной части озера на илах зафиксировано 52 вида. Из них 15 видов отмечаются стабильно, остальные были встречены единично. На литорали зафиксировано 98 видов. На разных станциях их число изменялось от 10 (ст. устье р. Ковжа) до 49 (ст. Липин Бор). Повсеместно на литорали отмечается инвазионный вид амфипод *Gmelinoides fasciatus*, в том время как в профундали озера он отмечается только в подледный период. Другой инвазионный вид – *Dreissena polymorpha* – встречается исключительно в истоке р. Шексна в силу отсутствия в озере подходящих для неё биотопов.

В центральной части озера биомасса зообентоса изменялась от 6 до 12 г/м² в разные годы наблюдений. Зообентос состоит исключительно из моллюсков, олигохет и хирономид. Сообщества стабильны и представлены комплексом *Chironomus* – *Procladius* – *Tubifex newaensis* – *Bivalvia*. Помимо этого в пробах часто присутствуют *Limnodrilus hoffmeisteri*, *Cryptochironomus gr. defectus*, *Polypedilum scalaenum*, *Harnischia curtilamellata*. По сравнению с 1980-ми годами наблюдается увеличение доли хирономид и снижение доли *Tubifex newaensis*. Количественные показатели остались на том же уровне. Центральная часть озер в целом оценивается как высококормная.

В литорали озера биомасса в среднем составила 5 г/м², при этом на разных станциях изменялась от 1.5 (ст. Троицкое) до 11 г/м² (ст. устье р. Мондома). При этом на открытой прибойной песчаной литорали организмы в пробах представлены исключительно мелкими хирономидами. Литоральные сообщества представлены моллюсками, олигохетами, хирономидами и амфиподами, которые суммарно составляют более 90 % численности и биомассы. Исключение составляет только станция в устье р. Ковжи, где половину биомассы составляют *Asellus aquaticus*. Инвазионный *Gmelinoides fasciatus* на литорали составляет чуть более 20 % численности и биомассы, что в целом ниже, чем в среднем по Вологодской области. Наибольшие количественные показатели отмечаются на каменистых грунтах и в зарослях *Fontinalis antipyretica*.

В центральной части озера сапробность в среднем составляет 2.1 – водоём относится к β-мезосапробной зоне. В литорали среднее значение сапробности составляет 2.3 (β-мезосапробная зона) и только в восточной части озера увеличивается до 2.55 переходя в α-мезосапробную зону.

Роль водных грибов в экосистеме Ладожского озера

Иофина И.В.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: irinaio@yandex.ru

Грибы играют важную роль в деструкции органического вещества в воде. Развитие водной микофлоры в Ладожском озере связано с возникновением дефицита биологически доступного (минерального) фосфора. В условиях антропогенного воздействия на водоем, они могут быть использованы в качестве индикаторов степени загрязнения водоема.

Исследования проводились в рамках комплексных рейсов с мая по октябрь по всей акватории Ладожского озера. Пробы отбирались с поверхности и далее в зависимости от глубины станции. Для выделения водных грибов был использован метод глубинного посева воды. Этот метод позволяет выделить преимущественно грибы с гифальной структурой таллома, ведущие сапрофитный и факультативно биотрофный образ жизни.

К настоящему времени в Ладожском озере выделены 52 вида водных грибов. Это представители *Hyphochytridiomycetes*, *Chytridiosomycetes*, *Oomycetes*, *Zigomycetes*, *Deuteromycetes*. Доминирующий комплекс состоит из таксономических групп оомицетов, зигомицетов и несовершенных грибов. Широко распространенные в воде дрожжевые организмы, относящиеся к отделу аскомицетов классу базидиомицетов, которые были разделены по окраске штриха на окрашенные и бесцветные. Бесцветные формы отнесены по основным признакам к двум видам – *Candida krusei* (Berhout) и *Torulopsis candida* (Saito) Lodder. Все цветные формы принадлежат виду *Rhodotorula rubrum* (Schimon) F.C. Harrison, Nouveau Trait M d. На протяжении последних лет исследований отмечалось массовое развитие дрожжевых организмов, что привело к вытеснению других представителей микофлоры из доминирующего комплекса.

В период с 2013 по 2023 годы наибольшая численность водных грибов регистрировалась в 2013 г. и составляла 7000 п/литр, что вероятно было вызвано осенней вспышкой диатомовых водорослей и последствиями интенсивной перестройки озерной биоты. В 2015 г. зафиксированы самые низкие значения микопланктона, начиная с 2009 г., при этом произошла видовая перестройка доминирующего комплекса, возможно вызванная ростом объема новообразованного органического вещества. Небольшое увеличение до 2100 п/л наблюдается в 2022 и 2023 гг. Можно предположить, что отмечавшийся в 2013 г. рост численности был вызван появлением новообразованного органического вещества за счет осенней вспышки диатомовых и последствиями этапа интенсивной перестройки озерной биоты. Анализируя данные полученные в период 2019–2023 гг., следует отметить изменение качественного состава микопланктона в сторону доминирования дрожжевых организмов, видовое разнообразие прибрежного района, увеличение числа паразитирующих форм на

водорослях и водных грибах, количественное увеличение водных микромицетов по сравнению с 2019 годом, связанное со снижением содержания минерального фосфора по акватории озера, и значительное увеличение водной микофлоры в придонном слое. Многолетние исследования на Ладожском озере позволили получить индивидуальные экологические характеристики большого количества видов водной микофлоры, которые могут служить основой моделирования их поведения в условиях изменения биогенной нагрузки, климатических факторов в наиболее распространенных местах промышленных сбросов.

О возможности мониторинга загрязнения пресноводных водоёмов Северо-Запада России с использованием нового биоиндикатора – переднежаберного моллюска *Viviparus viviparus*

Камардин Н.Н.* , Кузнецова Т.В., Манвелова А.Б.

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: nik-kamardin@yandex.ru

Анализ, оценка и прогноз экологических проблем тесно связаны с изучением популяций широко распространенных ключевых видов гидробионтов. В нашем случае с учетом региональных особенностей водных объектов Ленинградской области и детального знания биологии вида позволяют использовать переднежаберного моллюска *Viviparus viviparus* как биоиндикатора качества окружающей среды. Крупные размеры и тонкая раковина делают их пригодными для прикрепления оптоволоконных датчиков и неинвазивной регистрации их сердечной активности. Высокая или низкая температура (относительно температурного оптимума) вызывает у моллюсков стресс, который приводит к изменениям в сердечной активности, таким, как увеличение частоты и изменение ритма сердцебиения. Достоверные отличия в реакции ЧСС на максимальную температуру (T_{max}) между моллюсками из разных мест обитания указывают на различную антропогенную нагрузку в этих локациях. Реакция ЧСС (термоустойчивая реакция) как положительная, так и отрицательная, является защитным механизмом, позволяющим организмам справляться с изменениями температуры окружающей среды.

Моллюсков вида *Viviparus viviparus* собирали вручную на мелководье реки Луги в Ленинградской области. Были использованы моллюски, собранные из 2-х разных мест по течению р. Луги: первая группа была собрана на городском пляже г. Луги, вторая – рядом с г. Кингисепп, у деревни Преображенка, выше впадения реки Выбья. После 3-х дневной акклимации к лабораторным условиям у моллюсков регистрировали

ЧСС при реверсивном изменении температуры воды. Наиболее информативным показателем адаптивности моллюсков является скорость изменения ЧСС.

Проведенные эксперименты показали, что эти 2-е группы не достоверно отличаются по величине ЧСС при $T_{max} = 40^{\circ}\text{C}$: в I-группе ЧСС было равно 40.7 уд/мин и во II-группе – 42.4 уд/мин (t-критерий Стьюдента, $p > 0.05$). В то же время скорость нарастания ЧСС достоверно отличалась для этих групп: для I-ой группы – 35.6, для II-группы – 80.6. Результаты указывают на здоровье сердца и четкую регуляцию его работы контуром автономной нервной системы у моллюсков, выловленных в районе г. Кингисеппа. Такая же картина наблюдается при обратном охлаждении моллюсков до комнатной температуры 22°C : для I-группы равно 25.2, для II группы – 84.6, что свидетельствует о здоровье моллюсков и может характеризовать этот биотоп, как здоровый по сравнению с неблагоприятной экологической обстановкой в районе городского пляжа г. Луги.

Использование скорости прироста и скорости снижения сердечного ритма моллюсков вместе с анализом графика зависимости от температуры воды может помочь оценить адаптивные возможности моллюска к изменениям показателей окружающей среды и состояния здоровья водных организмов. Для корректной оценки здоровья *V. viviparus* необходимо проводить комплексное исследование, включающее не только измерение сердечного ритма, но и анализ других физиологических и морфологических показателей состояния животных с учетом физико-химических показателей среды их обитания. Только такой подход позволит сделать надежные выводы о состоянии *V. viviparus* и его адаптации к окружающим условиям, а также о здоровье самой водной экосистемы, в которой обитают эти моллюски.

Современное состояние бактериального сообщества Ладожского озера

Капустина Л.Л.* , Митрукова Г.Г.

Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: larisa.kapustina@mail.ru

Дана количественная оценка современного состояния бактериопланктона Ладожского озера и выявлена тенденция изменения общей численности бактерий за последние 14 лет. Определен трофический статус озера и качество воды в различных районах по микробиологическим показателям. Абсолютные величины общей численности бактериопланктона за исследованный период варьировали в интервале 0.45 (2019 г.) – 6.40 (2013 г.) млн кл/мл в гипolimнионе глубоководной части озера (придонный слой, гл. > 200 м) и в мелководном южном районе (Волховская губа), соответственно. Как правило, максимальные концентрации микроорганизмов, также

как температуры воды, отмечались в мелководном прибрежном районе, а минимальные – в наиболее глубоководной части озера. Была обнаружена линейная положительная связь между температурой воды и общей численностью бактерий, как для каждого отдельного года, так и для всего исследуемого периода. Трофический статус озера по общей численности бактериопланктона (летние данные) в 2009–2019 гг. не изменился по сравнению с первым десятилетием XXI века и варьировал от олиго-мезотрофного в гипolimнионе глубоководных районов до мезотрофно-эвтрофного в мелководном южном прибрежном районе, что соответствует трофическому статусу по хлорофиллу «а». В 2022–2023 гг. трофический статус Ладожского озера соответствовал мезотрофному. В 2017–2019 гг. так же, как в предыдущее десятилетие, по соотношению значений общей численности бактерий и численности сапрофитных бактерий, воды всех озерных районов соответствовали категории «особо чистые». В 2017–2023 гг. в воде озера кокковидные формы бактериальных клеток преобладали над палочковидными – 57.6 ± 5.1 % (2017 г.); 64.4 ± 4.5 % и (2018 г.); 61.1 ± 4.6 % (2019 г.); 67.2 ± 3.7 % (2020 г.); 68.3 ± 4.7 % (2021 г.); 67 ± 3.7 % (2021 г.); 65.2 ± 4.0 % (2023 г.); соответственно, что косвенно подтверждает чистоту озерных водных масс.

Зоопланктон Кондопожского залива Онежского озера. Современное состояние и многолетние изменения

Коновалов Д.С.

Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

e-mail: konovalov.daniil1998@gmail.com

Онежское озеро – одно из Великих озер Европы – обладает стратегически важным запасом чистой пресной воды. По большей части водоем имеет олиготрофный характер, однако испытывает антропогенное воздействие в локальных очагах. Оценить степень этого воздействия позволяют методы биоиндикации состояния водных сообществ и всей экосистемы, широко применяемые в экологическом мониторинге водных объектов.

Кондопожский залив на протяжении десятилетий испытывает серьезное и многофакторное антропогенное воздействие. В вершинной части акватория загрязняется сточными водами целлюлозно-бумажного комбината, объем которых широко варьировался в связи с изменением технологии производства древесины. В центральной части залива с начала XXI века размещаются форелевые хозяйства. В настоящее время в связи с антропогенным воздействием в акватории наблюдается повышенное содержание органических соединений, увеличение концентрации хлорофилла «а» и биомассы фитопланктона, а также дефицит кислорода в придонных слоях воды.

Зоопланктон, занимая центральное положение в трофической сети, является надежным индикатором природных и антропогенных изменений условий среды. История изучения зоопланктона Онежского озера насчитывает более ста лет и в настоящее время в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН накоплен большой объем информации о водных сообществах, что позволяет провести анализ трансформации планктона под влиянием антропогенных и климатических факторов. В результате многолетних исследований описан видовой состав, экология, численность и биомасса сообществ зоопланктона, пространственное распределение отдельных видов, сезонные изменения в структуре, влияние различного рода загрязнений. Одно из последних исследований позволило выделить наличие фенофаз в сезонном цикле зоопланктонных, определить сроки их начала, окончания и продолжительность. Фенологический подход позволяет рассматривать отдельные фазы сезонного развития зоопланктона и выявлять закономерности его функционирования в годовом цикле.

До 1980-х годов зоопланктон Кондопожского залива находился под сильным токсичным влиянием неочищенных сточных вод. Однако, после введения в эксплуатацию станции биологической очистки воды, наблюдалось снижение токсичности и обогащение сточных вод биогенными элементами и органическим веществом. Это привело к значительному улучшению трофических условий и заметному росту количественных показателей зоопланктона. В конце XX в. в вершинной части Кондопожского залива сформировалось зоопланктонное сообщество с преобладанием 1–2 видов фильтраторов и сдвигом соотношений основных таксономических групп в сторону увеличения доли кладоцер. В последние десятилетия значительно усилилось влияние форелевых хозяйств и наблюдается трансформация зоопланктона в сторону увеличения доли коловраток (более 85 %), а также упрощение структуры сообщества, что является показателем увеличения трофности.

Несмотря на хорошую изученность зоопланктона Кондопожского залива Онежского озера, остаются недостаточно ясными вопросы комплексного влияния антропогенных и климатических факторов. Необходимы дальнейшие исследования трансформации сообществ при многофакторном воздействии.

Многолетняя трансформация пелагического зоопланктона озера Глубокого (Московская область): тенденции последних лет

Коровчинский Н.М.^{1*}, Бойкова О.С.¹, Мнацаканова Е.А.²

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

² Биофак МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

*e-mail: nmkor@yandex.ru

Озеро Глубокое расположено в Рузском районе Московской области, примерно в 55 км к западу от Москвы (в пределах МКАД). Озеро имеет небольшую площадь (59.3 га) и состоит из глубокой центральной котловины, максимальная глубина которой составляет 30.9 м и мелководного залива глубиной не более 5 м. В 1891 г. на высоком восточном берегу озера была основана старейшая в России Гидробиологическая станция.

Исследования пелагического зоопланктона озера Глубокого, наиболее изученного сообщества данного водоёма, начались еще во второй половине XIX в. Первые пробы планктона были собраны здесь в первой половине 1860-х годов, и в дальнейшем зоопланктон здесь регулярно изучался с различной степенью интенсивности. В начале 1950-х годов среди ракообразных во все сезоны года в пелагиали доминировали копеподы. На первом месте стоял *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg), который встречался в планктоне круглый год. В безледный период важную роль в рачковом планктоне играл также *Mesocyclops leuckarti* (Claus), среди кладоцер наибольшую численность имели представители рода *Bosmina* Baird, *Daphnia cucullata* Sars и *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin).

Масштабные изменения в качественном составе зоопланктона произошли, начиная с 1960-х годов, после проведения гидромелиоративных работ на водосборе водоема. В частности, исчез один из массовых видов *M. leuckarti*, а вселение нового вида *Daphnia galeata* Sars привело к его гибридизации с местными видами рода. Также после гидромелиорации и в последующие годы исчезли 6 видов коловраток, вместо которых появилось 10 новых видов. За все время исследований в составе пелагического зоопланктона зарегистрировано 27 видов коловраток, в настоящее время здесь обитает 18 видов. В целом, перестройка сообщества ракообразных того времени продолжалась около 30 лет – примерно с середины 1960-х до середины 1990-х гг., а перестройка сообщества коловраток продолжается поныне.

В 2020 г. рачковый зоопланктон озера Глубокого насчитывал 11 видов и 3 гибридные формы. Летом 2021 г. в пелагиали озера обнаружено присутствие нового вида-вселенца, мелкого циклопа *Thermocyclops oithonoides* (Sars), который в два последующих года занял доминирующее положение в сообществе, уступая по численности только *E. graciloides*. Наряду с этим, численность новых для озера форм, появившихся в озере после гидромелиорации 1960-х годов (*Daphnia galeata*, гибридов

D. galeata x *D. cucullata*, *D. hyalina* x *D. galeata*, *Chydorus sphaericus*), существенно снизилась. В целом это свидетельствует о развитии тенденции возвращения таксономической структуры сообщества пелагических ракообразных озера Глубокого к её первоначальному состоянию до мелиорации. Устойчивость данной тенденции должны показать наблюдения последующих лет. Вместе с тем, в таксоценозе коловраток подобного не наблюдается, у них вновь появившиеся в недавние годы виды (*Gastropus hyptopus* (Ehrenberg) и *Ascomorpha ovalis* (Bergendahl)), которые наращивают численность, становясь постепенно доминирующими. Интересно отметить, что и другой вселившийся после мелиорации вид – *Gastropus stylifer* Imhof – также входит в состав доминирующей по численности группы летних видов. Все три вида обладают сходным типом питания, что может свидетельствовать о расширении новой экологической ниши, отсутствовавшей в озере до мелиорации.

Некоторые сведения о зообентосе озёрной системы острова Большой Соловецкий

Лапикова А.Т. *, Студёнова М.А.**

Северный филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Архангельск

* e-mail: gridasova@severniro.vniro.ru

** e-mail: studenova@severniro.vniro.ru

Большой Соловецкий – самый большой остров Соловецкого архипелага. Располагается в Белом море и является административной частью Архангельской области. Территория острова покрыта густой озёрной сетью. Исторически некоторые озёра острова соединены в одну систему ещё в XVI веке с целью питьевого водоснабжения Соловецкого монастыря. Сейчас воды данной системы до сих пор являются питьевыми для пос. Соловецкий, в связи с чем подчеркнём важность изучения и мониторинга состояния данных водоёмов.

В июне 2023 г. проведены гидробиологические исследования озёро-канальной системы острова. Обследованы два крупных озера питьевой системы – оз. Средний Перт и оз. Большое Красное. Всего выделено 9 мониторинговых станций для описания бентосных сообществ. Из них на оз. Средний Перт расположены 3 мониторинговых станции и 6 на оз. Большое Красное. Отбор проб зообентоса проводился по стандартной методике, дночерпателем Экмана-Бёрджа с площадью захвата 0.0196 м².

По результатам работы сделан вывод о разнообразии донной фауны озёр. Обнаружены следующие группы организмов: личинки насекомых (Diptera n/det, Ephemeroptera, Chaoborus, Chironomidae (lv и pp), Heleidae, Odonata, Trichoptera, Sialis), Пиявки (Hirudinea), Клещи (Acari), Моллюски (Bivalvia, Gastropoda, Pisidium), Аннелиды (Nematoda, Oligochaeta), Ракообразные (Ostracoda, Copepoda).

Численность организмов на оз. Средний Перт варьировала от 374.1 до 1091.8 экз./м², среднее значение по 3 станциям составило 823.1 экз./м². Значение биомасс организмов варьировало от 112.2 до 292.8 мг/м². Среднее значение – 252.4 мг/м². На всех трёх станциях по численности наблюдается чёткое доминирование личинок комаров-звонцов (*Chironomidae* sp.) (72.7–82.2 % от общих значений по станциям). По биомассе преобладание данных организмов наблюдается лишь на одной станции, а на остальных основу биомассы составляют двустворчатые моллюски (*Bivalvia* sp.) и личинки подёнок (*Ephemeroptera* sp.). В целом таксономическое разнообразие станций неодинаково – варьирование составляет от 3 до 7 таксонов.

Численность организмов на оз. Большое Красное варьировала от 221.1 до 2091.8 экз./м², средняя численность по 6 станциям составила 711.4 экз./м². Значение биомасс организмов варьировало от 157.1 до 930.5 мг/м², в среднем – 361.4 мг/м². Как и в случае с оз. Средний Перт, в данном озере преобладают по численности личинки комаров-звонцов (*Chironomidae* sp.) – от 58.1 до 100.0 % от общих значений численности по станциям). Преобладание по биомассе помимо *Chironomidae* sp. (30.5–100.0 % от общих значений биомассы по станциям) составляют личинки стрекоз (*Odonata* sp.) и пиявки (*Hirudinea* sp.) на двух станциях. Таксономическое разнообразие варьирует сильнее, чем на оз. Средний Перт – от 1 до 10 таксонов.

Таксономические различия двух озёр наблюдаются в присутствии в пробах из оз. Большое Красное личинок стрекоз (*Odonata*), пиявок (*Hirudinea*), брюхоногих моллюсков (*Gastropoda*), коретр (*Chaoboridae*), водяных клещей (*Hydracarina*).

Экологические последствия флуктуаций солёности для реактивации и формирования банков покоящихся яиц в популяциях ветвистоусых ракообразных

Лопатина Т.С.^{1*}, Задереев Е.С.¹, Хорошко К.В.², Оськина Н.А.³, Коновалова Д.А.¹

¹ *Институт биофизики СО РАН – ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск*

² *Сибирский федеральный университет, г. Красноярск*

³ *ФГБУ Государственный заповедник «Хакасский», г. Абакан*

* e-mail: lopatinats@mail.ru

Для сохранения биоразнообразия и качества воды в условиях глобальной тенденции засоления природных экосистем, связанной, в том числе, с изменением климата, необходимо иметь представление о пределах устойчивости организмов и популяций животных, населяющих водоемы, к изменению концентрации растворенных солей. Планктонные ракообразные являются широко распространенной группой организмов, которые играют ключевую роль в функционировании экосистем. Помимо

активной формы существования, они обладают важной для стабильности и функционирования экосистем способностью формировать покоящиеся яйца. Однако немногие исследования оценивают негативные последствия повышенной солёности для банков покоящихся яиц зоопланктона и их способности служить источником восстановления активных популяций.

В настоящей работе изучено негативное влияние повышенной солености на покоящиеся яйца различного возраста и самок *Moina macroscopa*, реактивированных из яиц. Повышение солености до 5.85 г/л не влияло на реактивацию покоящихся яиц. Значимое снижение эффективности реактивации яиц наблюдалось в зависимости от возраста эфиппиумов. Так, для яиц 4-летнего возраста выход рачков был ниже на 50 %, чем для 1-летних яиц. Показано снижение показателей параметров жизненного цикла самок, вылупившихся из 4-летних яиц, по сравнению с самками из 1-летних яиц под действием солености в пределах 0.08–3.5 г/л: более короткая продолжительность жизни, меньшая скорость ювенильного соматического роста, задержка в формировании первой кладки и меньшее количество образованных кладок. Сравнительный анализ показал, что при солености 3.5 г/л самки, вылупившиеся из покоящихся яиц, более уязвимы к действию солености, чем самки, образованные в партеногенетической кладке. Самки, реактивированные из латентных яиц, подвергшиеся воздействию засоления, показали более короткую продолжительность жизни и сниженные показатели параметров размножения (отрождали меньшее количество кладок и потомков) по сравнению с самками, образованными в партеногенетической кладке. Таким образом, реактивацию покоящихся яиц можно рассматривать как критический период развития у видов, обладающих в их жизненном цикле диапаузой, из-за уязвимости самок, реактивированных из яиц, к повышению солености.

Флуктуации солёности могут иметь серьёзные последствия для экологически значимой способности ветвистоусых ракообразных восстанавливать численное обилие после периодов физиологического покоя и иметь решающее значение для экологического успеха природных популяций. В экспериментах, с использованием методов популяционного культивирования рачков, показаны хронические эффекты действия солёности на реактивацию покоящихся яиц, развитие рачков и способность популяций животных формировать банки покоящихся яиц.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, Красноярского краевого фонда науки № 23-24-10044, <https://rscf.ru/project/23-24-10044/>

Макрозообентос как показатель многолетних изменений в экосистемах двух субарктических озер

Максимов А.А. *, Березина Н.А.

Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: alexeymaximov@mail.ru

Влияние изменений климата на экосистемы северных водоемов слабо изучены. Оценки экологических последствий климатических изменений обычно основаны на анализе рядов многолетних наблюдений. Однако в полярных районах регулярный экологический мониторинг был начат относительно недавно и, как правило, приурочен к местам сильного локального антропогенного воздействия, что затрудняет использование полученных данных для оценки крупномасштабных процессов, таких как изменения климата. В связи с этим большую ценность представляют результаты первых гидробиологических исследований, проведенных в годы с более холодным климатом.

Озера Кривое и Круглое, расположенные на берегу Белого моря вблизи Беломорской биологической станции ЗИН РАН, сильно различаются по морфометрии и степени гумификации воды. Положение озер рядом с биостанцией способствовало их интенсивному изучению. Первые гидробиологические исследования здесь были проведены в 1968–1969 гг. в рамках Международной биологической программы. Нами были проанализированы изменения, произошедшие за 50 лет в макрозообентосе. Макрозообентос считается наиболее эффективным индикатором долговременных изменений природной среды, поскольку донные макробеспозвоночные имеют длительный жизненный цикл, вследствие чего они менее чувствительны к сезонным и синоптическим колебаниям. С этой целью в 2019–2020 гг. на озерах были выполнены бентосные съемки по той же сетке станций и в те же сроки, как в 1960-е гг.

В макрозообентосе исследованных озер произошли заметные изменения. В оз. Кривое с неокрашенной гумусом водой изменения напоминают те, что наблюдаются в бентосе эвтрофируемых водоемов. Биомасса макрозообентоса в оз. Кривое к 2000-м гг. увеличилась в два раза, главным образом за счет двустворчатых моллюсков, распространенных в литоральной зоне. Их доля в биомассе бентоса возросла с 15 до 29 %. Значение ракообразных, представленных преимущественно ледниковыми реликтовыми амфиподами, напротив, снизилось с 40 % в 1960-х гг., до 19 % в 2000-х гг. В оз. Круглое отмечена противоположная тенденция. В отличие от оз. Кривое, за прошедшие 50 лет количество моллюсков здесь уменьшилось в 2–3 раза, что привело к заметному снижению общей биомассы макрозообентоса.

Исследования 1960-х гг. проводились в условиях, когда климат был заметно холоднее, чем в настоящее время, особенно в зимний период. Известно, что в северных широтах степень суровости зимы и развития снежного покрова являются основными факторами, контролирующими вынос органических и минеральных веществ.

Увеличение поступления органических и биогенных веществ с водосбора вследствие потепления климата благоприятствует развитию бентоса в озере Кривое (прежде всего моллюсков-фильтраторов), по-видимому, за исключением холодолюбивых ледниковых реликтов. Противоположная тенденция уменьшения количества бентоса в оз. Круглое, очевидно, связано с более сильной гумификацией этого водоема. В данной ситуации дополнительный приток окрашенных органических веществ с заболоченного водосбора ведет к ухудшению световых условий для фотосинтеза, снижая первичную продукцию и, соответственно, ухудшая условия питания донных животных. Результаты показывают, что даже близкорасположенные водоемы могут по-разному реагировать на изменения климата. В зависимости от характера водосбора и морфологии озер может наблюдаться как повышение их продуктивности из-за поступления биогенных веществ, так и снижение из-за гумификации.

Разнообразие мшанок (Bryozoa) шхерного района Ладожского озера

Мухин И.А. *, Мастаков И.А.

Вологодский государственный университет, г. Вологда

* e-mail: mukhinia@vogu35.ru

Мшанки представляют собой важную с точки зрения функционирования водных экосистем, но малоизученную по настоящее время группу организмов. Малоизучено в этом отношении и Ладожское озеро. Основные системные исследования их разнообразия проводились в 30-е года прошлого века, в том числе в ходе Ладожской экспедиции 1932–1933 гг., по материалам которой для Ладожского озера указывается пять видов мшанок. В отношении изученности видового состава группы Ладожское озеро уступает Онежскому, на котором в силу различных причин проводилось большее число сборов.

Совершенно за рамками внимания исследователей остались особенности экологии мшанок, их биотопическая приуроченность и распределение на различных субстратах озера, распределение статобластов. Между тем, указывается, что мшанки могут играть эдифицирующую роль в сообществах обрастаний и активно учувствуют в процессах самоочищения воды, поддерживая функционирование озерной экосистемы. Понимание экологии этой группы позволит более эффективно управлять озерным сообществом, пострадавшим от антропогенного воздействия в последние десятилетия.

Разнообразие и экологию мшанок изучали на протяжении 2021–2023 гг. в ходе экспедиционных выездов в различные районы Ладожских шхер. Исследования проводили в первую неделю августа. Колонии изучались непосредственно на субстрате, собирались и фиксировались для лабораторного определения общепринятыми методами. Статобласты мшанок искали на различных погруженных

предметах, а также в толще воды. Планктонные стадии собирали сетью Джеджи в поверхностном слое на различном удалении от берега и в условиях различной волновой обстановки.

Всего для шхерного района Ладожского озера выявлено 9 видов мшанок: *Plumatella casmiana* (Oka, 1907), *P. repens* (L., 1758), *P. fruticosa* (Allmann, 1844) *P. emarginata* (Allman, 1844) *Fredericella sultana* (Blumenbach, 1779), *Hyalinella punctata* (Hancock, 1850), *Cristatella mucedo* (Cuvier, 1798) *Hyalinella punctata* (Hancock, 1950) *Paludicella articulata* (Ehrenberg, 1831). При этом вид *Cristatella mucedo* отмечен только в форме расселительных стадий, впрочем, в значительном количестве.

В качестве субстрата для поселения мшанки наиболее часто выступают каменистые скальные обломки, которые обычны в этом районе озера. Однако более обильны мшанки на деревянных субстратах, в особенности на обработанной древесине – старых частях конструкций и попавшем в воду деревянном мусоре. На таких фрагментах формируется значительно более массивные колонии и проективное покрытие такого субстрата намного выше, чем каменистого. На живых растениях мшанки отмечались крайне редко (единичные случаи на несколько тысяч обследованных растений) и видимо это скорее исключения. Тем не менее, колонии мшанок зафиксированы на листьях рдеста и стеблевой части камыша.

На различных участках побережья формируются различающиеся по своей структуре и видовому составу мшанковые сообщества, тем не менее можно выделить устойчивые комплексы, формирующиеся в определенных условиях. В первую очередь это касается характера волновой активности на участке побережья: глубокие и неглубокие бухты, проливы и т.п. отличаются по качественным и количественным показателям мшанкового сообщества. В качестве обобщения можно отметить, что в условиях каменистой литорали мшанки тяготеют к защищенным от волн участкам и затененным местообитаниям.

Микробные сообщества высокоминерализованных озер Центральной Азии

Намсараев З.Б. *, Комова А.В.

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва

* e-mail: zorigto@gmail.com

Микробные сообщества высокоминерализованных озер Центральной Азии находятся в условиях аридного континентального климата с широким годовым диапазоном температур (от +40 до –55 °С), что резко отличает их от озер других регионов. Формирование этих озер происходит в разнообразных геологических и палеогеографических условиях, что обуславливает широкий диапазон экологических

условий в водоемах (минерализация может достигать 400 г/л, рН до 10.5). Микробные сообщества озер представлены планктонными сообществами, скоплениями нагонной биомассы, биопленками и микробными матами с доминированием эукариотических макро- и микроводорослей, цианобактерий и аноксигенных фототрофных микроорганизмов. Сообщества активно участвуют в круговороте углерода, азота и серы. Наибольшая активность микробных процессов была зарегистрирована при минерализации менее 100 г/л. Тем не менее, небольшие значения активности микробных процессов регистрировались вплоть до максимальных уровней минерализации воды в озерах. Максимальная скорость оксигенного фотосинтеза была зарегистрирована в микробных матах и составила 3.8 г С/(м² сут), что как минимум в 3 раза ниже, чем в озерах Восточно-Африканской рифтовой зоны. Температура воды является одним из важнейших факторов, влияющих на активность микробных процессов, что указывает на важную роль климатических условий Центральной Азии для жизнедеятельности микробных сообществ содовых озер.

Изучение неоднородностей пространственного распределения зоопланктона

Наумова Е.Ю.

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

e-mail: [lena@lin.irk.ru](mailto:lana@lin.irk.ru)

Планктонные животные образуют скопления под действием физических факторов (температура, освещенность, ветровое перемешивание, рельеф дна, внутренние волны, течения, глубина деятельного слоя). Изменение климата влияет на большинство из них. Это может быть причиной изменений видового состава и количества зоопланктона озера Байкал, а также амплитуды суточных вертикальных миграций и пространственного распределения. Подсчет численности зоопланктона связан со сложностями оценки ошибок из-за неравномерности вертикального и горизонтального распределения. На Байкале ведутся исследования по соотношению данных планктонных сетей с данными современных профайлеров, в частности, сетные сборы с одновременным применением датчиков глубины и температуры.

Для повышения достоверности результатов также можно увеличивать количество наблюдений и моделировать на их базе появление возможных неоднородностей используя изученные закономерности. Внедрение акустических и оптических методов наблюдения за зоопланктоном предоставляет такие возможности. Акустические системы с пространственным разрешением, позволяющим отслеживать скопления зоопланктона, уже давно применяются для морских экосистем и широко используются на крупных пресных озерах мира. На Байкале их технические

характеристики позволяют обнаруживать и оценивать скопления *Macrohectopus branickii* – подвижного эндемичного представителя макрозоопланктона озера. После завершения практических и теоретических работ по идентификации скоплений на эхограммах, мы получим возможность сбора пространственной информации о макрозоопланктоне. Для количественной оценки *M. branickii*, наряду со специально полученными данными можно будет использовать результаты акустических исследований байкальской рыбы, регулярно проводимых с 2008 г. В перспективе возможны исследования по идентификации скоплений фитопланктона и мезозоопланктона.

Взаимодействие гидрофизических факторов приводит к формированию микрослоев планктона, изучение которых невозможно без применения видеосистем и профайлеров температуры, течения, освещенности, химических параметров с достаточно высоким разрешением и точностью измерения. Наблюдение формирования этих слоев в реальном времени с применением акустических и видеосистем дает необходимую информацию для определения факторов их образования. На Байкале проходила тестирование погружная голографическая установка. Она применялась для вертикального сканирования толщи воды в пелагиали и как стационарный датчик длительного наблюдения за зоопланктоном в прибрежной зоне. Оба варианта использования дали как новые сведения о поведении зоопланктона, так и подтвердили обнаруженные ранее закономерности. Байкал является хорошим полигоном для совершенствования техники мониторинга крупных пресноводных водоемов и Мирового океана.

Работа выполнена в рамках проекта МИНОБРНАУКИ России 0279-2021-0005 «Исследование трансформаций состояния водоемов и водотоков Восточной Сибири в сезонных и долговременных аспектах в контексте изменений климата, геологической среды и антропогенных нагрузок»

Сезонная изменчивость характеристик «цветения» воды на примере Можайского водохранилища

Птицына Е.Д.^{1*}, Ерина О.Н.¹, Воденеева Е.Л.²

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

² ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

*e-mail: ptitsynaeva@yandex.ru

«Цветение» воды является естественным процессом, который свойственен водоемам с высокими значениями первичной продукции органического вещества. При этом антропогенное воздействие на водоемы, которое возросло в последнее столетие с ростом населения, способствует многократно более активному размножению фитопланктона по сравнению с условно ненарушенными водными объектами.

Можайское водохранилище расположено на западе Московской области в верховьях реки Москвы, входит в Москворецкую систему водоснабжения г. Москвы. Этот объект был выбран из-за наличия базы многолетних ежемесячных наблюдений, которые проводятся сотрудниками Красновидовской учебно-научной базы МГУ имени М.В. Ломоносова. В работе использованы результаты 54 определений содержаний хлорофилла «а» в поверхностном слое воды и 20 проб фитопланктона с мая по сентябрь 2019 и 2020 гг., станции отбора проб расположены равномерно по длине всего водохранилища.

В видовом составе фитопланктона всего в Можайском водохранилище в 2019 г. в вегетационный период было обнаружено 212 видов, а в 2020 г. – 195 видов, относящиеся к 8 отделам. Средняя биомасса фитопланктона в поверхностном слое Можайского водохранилища широко изменяется в течение вегетационного сезона. Так, в 2019 г. отмечался стабильный рост биомассы фитопланктона с мая по август, в августе были пиковые значения – 64.8 г/м³ в средней части водохранилища, а средние значения достигали 37.1 г/м³. В сентябре активность фитопланктона снизилась в связи с охлаждением атмосферы и водной толщи, и средние значения достигли 20 г/м³. Такие же изменения характерны и для концентраций хлорофилла «а» в поверхностном слое. В августе концентрация хлорофилла «а» достигла – 103.6 мкг/л, при средних значениях за вегетационный период – 33.5 мкг/л. Такой пик развития фитопланктона стал возможен при благоприятных условиях для размножения цианобактерий. Так, средний уровень в вегетационный сезон составил всего 179.7 м абс. (НПУ=183 м абс.). При низком уровне увеличивается площадь мелководных зон, которые легче обогащаются биогенными элементами и в которых замедляется скорость течения. Максимальное значение биомассы в августе 2019 г. обусловлено интенсивным развитием водоросли *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (44.4 г/м³) в районе III станции. Средняя биомасса этой водоросли в течение вегетационного сезона 2019 г. составила 8.1 г/м³, минимальная отмечалась в мае – от 0.01 г/м³.

В 2020 г., который сильно отличался от 2019 г. и по водности, и по гидрометеорологическим условиям, активность фитопланктона была нарушена экстремальным паводком, который сопровождался холодной циклональной погодой. Средние концентрации хлорофилла «а», как и биомасса фитопланктона, в июле снизились примерно в 2 раза по сравнению с июнем. В августе концентрация хлорофилла «а» достигла 74.8 мкг/л, а биомасса фитопланктона – 14.8 г/м³. Средняя концентрация хлорофилла «а» за вегетационный период составила 19.0 мкг/л. Основу альгоценозов создавали криптомоналы, составляя более 30 % общей биомассы. В виду холодных погодных условий цианобактерии развивались слабо, уступая другим видам, их максимальная биомасса составила 12.7 г/м³, в основном за счет развития того же вида водоросли, который доминировал в 2019 г.

Работа выполнена при поддержке НИР кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, в рамках госзадания, номер ЦИТИС 121051400038-1

Изучение растительного покрова озер Белое и Липовское (Кургальский полуостров, Ленинградская область)

Русанов А.Г.* , Газизова Т.Ю., Лапенков А.Е., Сапелко Т.В.

Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: rusanov@limno.ru

В августе 2023 г. проведено исследование сообществ макрофитов оз. Белого и оз. Липовского, расположенных на территории Государственного природного заказника регионального значения “Кургальский”. Видовой состав и пространственное распределение сообществ макрофитов фиксировались с лодки стандартным методом картирования фитоликторали [1, 2]. Изменение распределения макрофитов с глубиной изучались при помощи аквалангиста на трансектах, заложенных перпендикулярно линии берега.

В олиготрофном оз. Белом сплошные заросли образует редкий амфиатлантический вид *Lobelia dortmanna*, занесенный в Красную книгу природы Ленинградской области [3]. Этот вид образует лобелиевые сообщества, в которых часто встречаются *Isoëtes echinospora*, *I. lacustris* и *Littorella uniflora*, также занесенные в Красную книгу Ленинградской области [3]. В состав этих сообществ также входят *Myriophyllum alterniflorum*, *Eleocharis acicularis* и *Juncus supinus*. В лобелиевых сообществах наблюдается смена сопутствующих видов с глубиной: на мелководье основным сопутствующим компонентом являются *Isoëtes echinospora*, *I. lacustris* и *Myriophyllum alterniflorum*, а на глубине – *Littorella uniflora*. Глубина распространения

лобелиевых сообществ в оз. Белом достигает 4 м. Прибрежные заросли образованы сообществами *Phragmites australis* с примесью *Scirpus lacustris* и *Typha latifolia*.

В солоноватом оз. Липовском на севере в районе протоки в Финский залив произрастают как обычные пресноводные виды, так и виды, типичные для солоноводных водоемов. В прибрежной зоне распространены тростниковые сообщества с доминированием *Phragmites australis*, к которым примешиваются *Bolboschoenus maritimus* и *Scirpus lacustris*. Перед зарослями тростника встречается *Alisma gramineum*, занесенная в Красную книгу Ленинградской области [3]. Погруженные гидрофиты представлены *Potamogeton perfoliatus*, *Stuckenia pectinata*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Batrachium marinum* и редким видом *Najas marina*, занесенным в Красную книгу Ленинградской области [3]. Вдоль восточного и западного берегов, перед сообществами тростника располагается пояс погруженной растительности, сложенный *Potamogeton perfoliatus*, *Stuckenia pectinata*, *Myriophyllum sibiricum* и *Najas marina*. Глубина распространения погруженных макрофитов в оз. Липовском достигает 3 м.

Исследование выполнено по гранту Российского научного фонда № 23-27-00128.

Литература

- [1] Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л.: Наука, 1981. 187 с.
- [2] Kolada A. et al. Deliverable D3.2-1: Overview and comparison of macrophyte survey methods used in European countries and a proposal of harmonized common sampling protocol to be used for WISER uncertainty exercise including a relevant common species list. 2009.
- [3] Красная книга Ленинградской области. Объекты растительного мира. СПб.: Марафон, 2018. 848 с.

Новые находки редких видов *Fragilaria* (Fragilariaceae, Bacillariophyta) в Ладожском озере: морфология и распространение

Русанов А.Г.^{1,3*}, Гололобова М.А.², Колобов М.Ю.², Дулеба М.³,
Георгиев А.А.², Киш К.Т.³, Ач Е.³

¹ Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

² МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

³ Национальный университет государственной службы, Факультет наук о воде,
г. Байя, Венгрия

*e-mail: rusanov@limno.ru

В 2021 г. в пробах перифитона из Ладожского озера была обнаружена популяция вида, морфологически сходного с байкальским эндемиком *F. sublanceolata-baikali* [1]. Чтобы определить соответствие этой популяции ранее признанному виду из озера Байкал и выяснить ее отличие от других сходных видов *Fragilaria*, изучена морфология створок трех морфологически близких популяций *Fragilaria* (*F. sublanceolata-baikali*, *F. pectinalis* и *F. perminuta*), отобранных в Ладожском озере, и одной популяции *F. sublanceolata-baikali*, с Байкала.

Для изучения межвидовых и внутривидовых морфологических различий использовали методы традиционной (ТМ) и геометрической морфометрии (ГМ) [2]. Ковариация между формой и размером створок диатомовых (онтогенетическая аллометрия) оценивалась для выявления различий в траекториях аллометрических зависимостей на межвидовом и внутривидовом уровнях. Для улучшения видовой дифференциации был протестирован метод удаления общей аллометрической компоненты, как способ размерной коррекции в морфометрических данных [3].

ТМ анализ показал, что *F. sublanceolata-baikali* отличается от *F. pectinalis* и *F. perminuta* длиной створки, а *F. pectinalis* и *F. perminuta* различаются плотностью штрихов. Все три вида *Fragilaria* характеризовались отдельными и параллельными аллометрическими траекториями. Напротив, две популяции *F. sublanceolata-baikali* описывались общей аллометрической зависимостью, что указывает на их конспецифичность. До удаления аллометрической компоненты ГМ анализ не позволил отличить виды *Fragilaria* друг от друга. После аллометрической коррекции, виды *Fragilaria* четко разделились в скорректированном по размеру морфологическом пространстве, тогда как две популяции *F. sublanceolata-baikali* образовали сильно перекрывающуюся группу.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что коррекция аллометрической изменчивости может быть полезным инструментом для различения морфологически близких видов диатомовых водорослей. Методы традиционной и геометрической морфометрии подтвердили морфологическое сходство двух географически удаленных популяций *F. sublanceolata-baikali*, что позволяет считать этот вид инвазивным в Ладожском озере.

Исследование частично выполнено в рамках программы «Széchenyi Plan Plus» при поддержке проекта RRF 2.3.1 21 2022 00008.

Литература

- [1] Rusanov A.G., Duleba M., Kiss K.T., Ács É. Morphological characteristics of selected species of *Fragilaria capucina/vaucheriae* species complex in Lake Ladoga // Proceedings of the XVII International scientific conference “Diatom algae: morphology, biology, systematics, floristics, ecology, paleogeography, biostratigraphy”, Minsk: Kolorgrad, 2021. P. 27–30.
- [2] Bookstein F.L. Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 435 p.
- [3] Klingenberg C.P. Size, shape, and form: Concepts of allometry in geometric morphometrics // *Dev. Genes Evol.* 2016. Vol. 226. P. 113–137.

Количественная оценка величины продукции фитопланктона малых озёр с применением технологии искусственных нейронных сетей

Скворцов В.В.

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург

e-mail: vlad_skvortsov@mail.ru

Такая характеристика озерных экосистем, как продукция фитопланктона является важнейшей оценкой продукционного потенциала озёрной экосистемы. Обычно получение этой информации требует проведения регулярных полевых наблюдений и проведение лабораторных анализов, что не всегда возможно. Однако существует возможность на основе анализа существующей информации об озерных экосистемах построить экспертные системы для количественной оценки этого параметра. Целью настоящей работы является построение регрессионных моделей для надежного предсказания продукции фитопланктона (первичной продукции) экосистем малых озёр.

В этой работе использовалась информация из базы лимнологических данных малых озёр, построенной нами. Основу ее составили опубликованные данные исследований, проведенных сотрудниками Института озераедения РАН в 1975–1992 годах. В базу включены сведения о 20 малых озерах с площадью зеркала от 0.04 до 14.2 км², расположенных на Карельском перешейке Ленинградской области РФ и в восточной части Латвийской Республики (Латгалия). База состоит из 50 записей и содержит 20 лимнологических характеристик. Все озера, включенные в нее, были исследованы в течение от одного до четырёх вегетационных сезонов.

Морфометрические, гидрологические, гидрохимические и гидробиологические характеристики (параметры) являются средними оценками за указанный сезон года.

Учитывая, что в экосистемах практически отсутствуют линейные связи между компонентами, пришлось отказаться от классических линейных моделей множественной регрессии и использовать современные методы Data mining, в частности – сплайны многомерной адаптивной регрессии (MARSplines) и искусственные нейронные сети (ANN). Результатом применения метода MARSplines, в частности, оказалось определение наиболее важных предикторов величины первичной продукции. Таковыми оказались четыре параметра – (1) средняя глубина озера, (2) доля водосбора озера, покрытого лесами и болотами, (3) доля водосбора, отведённого под пашни и (4) концентрация общего фосфора в воде. Эти предикторы были использованы для построения нейронно-сетевых регрессионных моделей. Для построения регрессионных моделей использовалось 90 % записей базы данных, оставшиеся 10 % данных, выбранных случайным образом, являлись независимой выборкой для оценки качества полученных моделей и точности предсказания величины первичной продукции. Качество моделей оценивалось при помощи величин коэффициента детерминации (R^2) и средней абсолютной ошибки в процентах (MAPE – mean absolute percentage error).

Испытания нейронно-сетевых регрессионных моделей и сравнения их результатов с семью независимыми выборками позволили создать прогностические модели для количественной оценки величины продукции фитопланктона малых озёр, которые характеризуются следующими показателями точности ($\bar{x} \pm SE$): $R^2=0.993 \pm 0.026$ и $MAPE=16.4 \pm 1.2$ %. Окончательная апробированная версия данной регрессионной модели состоит из четырёх входов (предикторов), девяти скрытых нейронов, с логистической активационной функцией, $R^2=0.980$, $MAPE=16.0$ %. Достигнутая точность прогнозирования оцениваются как хорошая (10–20 % – Good forecasting).

Таким образом, можно сделать заключение, что эту модель можно рекомендовать для практического использования специалистами лимнологии и ихтиологии для оценки продукционного потенциала малых озёр в пределах указанной территории.

Состав и структура зимних зоопланктонных сообществ разнотипных озер Кенозерского национального парка (Архангельская область)

Собко Е.И.* , Климов С.И., Неверова Н.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени
академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск

*e-mail: elfisina@yandex.ru

Исследования зимних сообществ зоопланктона проводились в феврале-марте 2014–2016 гг. на озерах Вильно и Лекшмозере. Водоемы расположены на территории Кенозерского национального парка и относятся к водосборному бассейну Белого моря. Цель работы – изучить особенности распределения зоопланктона и проанализировать изменения, происходящие в структуре сообществ в зимний период.

Исследованные водоемы отличаются по морфометрическим характеристикам и трофическому статусу. Озеро Вильно мезотрофный водоем. Площадь зеркала озера – 2.78 км², средняя глубина 3.4 м, наибольшая – 5.9 м. Лекшмозере олиготрофный водоем с признаками мезотрофии. Площадь зеркала озера составляет 54.4 км², наибольшая глубина – 28 м.

Зооценозы исследованных озер представлены зимними видами и круглогодичными формами. Всего за период исследований в Лекшмозере выявлено 17 видов зоопланктона (Rotifera – 8 видов, Cladocera – 5 видов и Copepoda – 4 вида), в озере Вильно – 15 видов (Rotifera – 9 видов, Cladocera – 3 вида и Copepoda – 3 вида). Видовое разнообразие зоопланктонных сообществ озер определяли коловратки – *Kellicottia longispina*, *Kerattela quadrata*, *Polyarthra dolichoptera*, *K. cochlearis*, *Filinia longisetata*. Из копепод в озерах встречались *Cyclops strenuus*, *C. kolensis*, *C. vicinus*. *Eudiaptomus graciloides*. Ветвистоусые ракообразные в зимнем планктоне водоемов представлены видами *Daphnia longispina*, *D. cristata*, *D. longiremis*, *Bosmina longirostris*.

Количественные показатели развития зооценозов в зимний период значительно ниже, чем летом. В зависимости от года исследований средние показатели численности зоопланктона в озере Вильно изменялись пределах от 8402 до 66650 экз./м³, а биомассы от 0.12 до 0.45 г/м³, в Лекшмозере – от 6090 до 26722 экз./м³, биомассы от 0.07 до 0.18 г/м³, соответственно. Основной вклад в общую численность и биомассу зоопланктона вносили веслоногие ракообразные. В феврале–марте наблюдалось активное развитие зоопланктона озер. В составе популяций веслоногих ракообразных отмечалось большое количество яйценосных самок, а также науплиусов. В разные годы исследований доля науплиусов в общей численности веслоногих ракообразных в озере Вильно составляла от 16 до 23 % и от 31 до 78 % в Лекшмозере.

В подледный период в озерах наблюдалась неоднородность распределения зоопланктона, что связано с особенностями температурного и кислородного режимов, а также трофическими условиями. Анализ вертикального распределения гидробионтов в

Лекшмозере выявил приуроченность организмов к нижним горизонтам (20 м), где зафиксированы максимальные значения количественных показателей. Второй пик численности и биомассы зоопланктона отмечен в поверхностном горизонте (1–7 м). В озере Вильно наибольшее количество гидробионтов отмечено в поверхностном горизонте (1–3 м).

Исследования показали, что состав, структура и распределение зоопланктона в зимний период зависят от гидрологических особенностей водоемов, кислородного и температурного режимов, а также трофических условий.

Работа подготовлена при финансовой поддержке темы ФНИР: FUUW-2022-0065 (№ гос. регистрации 122011800149-3).

Перифитон озерно-речных систем Северо-Западного округа

Станиславская Е.В.

Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: stanlen@mail.ru

В настоящее время быстрыми темпами возрастает уровень антропогенной нагрузки на водоемы и водотоки, что приводит к значительным изменениям их экосистем. Наиболее сильно негативные последствия антропогенных воздействий проявляются на водных системах, расположенных в больших промышленных городах и их пригородах. В связи с этим актуально сравнение структурно-функциональных характеристик перифитона городских озерно-речных систем, с таковыми, расположенными за пределами городских территорий. В качестве объектов исследования были выбраны три водные системы на территории Санкт-Петербурга и его окрестностей, подверженных антропогенным воздействиям различных видов. Исследования проводились в вегетационный сезон 2014 г. на озерно-речных системах: оз. Нижнее Суздальское – рр. Старожиловка и Каменка, система Дудергофских озер – р. Дудергофка, р. Охта – Охтинское водохранилище. В Ленинградской области в 2019–2023 гг. были проведены работы на 8 озерно-речных системах северо-западного побережья Ладожского озера: оз. Мадалаярви – р. Авлога, оз. Хепоярви – р. Морье, оз. Лемболовское – р. Вьюн, оз. Нарядное – р. Семужья, р. Сосновка, оз. Болотное – руч. Болотный, оз. Лопастное – руч. Черный, р. Сосновка.

Основной целью исследования было изучение формирования структурно-функциональных характеристик водорослей перифитона под влиянием различных факторов, по-разному проявляющихся на урбанизированных и природных территориях. В качестве структурных показателей использовался анализ видового состава водорослей, комплекс доминирующих видов и индекс видового разнообразия

Шеннона. В качестве функциональных показателей перифитона было проведено определение содержания хлорофилла «а» и каротиноидов. Выявление индикаторных видов позволило рассчитать общепринятый индекс сапробности, выявляющий наличие органического вещества и степень его трансформации.

В составе перифитона всех озерно-речных систем было выявлено около 400 видов, разновидностей и форм водорослей, принадлежащих к 7 отделам. В перифитоне преобладали диатомовые, зеленые, эвгленовые водоросли и цианопрокариоты, широко распространенные в водоемах умеренной зоны. В перифитоне городских систем преобладали диатомеи из родов *Navicula* и *Nitzschia*. Влияние болотных вод на заболоченных территориях проявлялось в доминировании среди диатомовых видов родов *Eunotia* и *Pinnularia* и видов из родов *Closterium*, *Cosmarium*, *Micrasterias* из харовых водорослей. В мезотрофных и эвтрофных водотоках преобладали виды родов *Fragilaria*, *Cymbella*, *Gomphonema*. В перифитоне городских озерно-речных систем обеднение видового состава наблюдалось на всем их протяжении, тогда как в системах побережья Ладожского озера только на отдельных участках. Величины индекса разнообразия Шеннона изменялась в широких пределах, но, в целом, свидетельствовали о достаточно устойчивых сообществах перифитона. Количественное развитие перифитона варьировало в сезонных и пространственных масштабах, но каких-либо закономерностей выявлено не было. Оценка экологического состояния систем по перифитону показала, что городские системы более загрязнены. В них отмечены наиболее высокие величины индекса сапробности и выявлены виды-индикаторы сильных органических загрязнений.

Таким образом, структурно-функциональные характеристики перифитона озерно-речных систем различались в городских и природных условиях.

Оценка качества вод некоторых озер г. Нижнего Новгорода с применением морфофункциональной классификации фитопланктона

Старцева Н.А.*, Гаврилко Д.Е., Жихарев В.С.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

*e-mail: startseva@bio.unn.ru

На территории г. Нижнего Новгорода расположены 39 водоемов лентического типа, имеющих различные лимнологические характеристики, происхождение, трофический статус и уровень антропогенной нагрузки. Были исследованы три из них: копаное мезотрофное оз. Парковое (2019 г.), копаное мезотрофно-эвтрофное оз. Счастливое (2019 г.), и пойменное гипертрофное оз. Лунское (2017 г.), расположенные в пределах низинного левобережья р. Оки.

Пробы фитопланктона на каждом озере были отобраны одновременно в период летней межени (июль–август) с трёх станций, расположенных в биотопически неоднородных участках. Всего было проанализировано 9 проб фитопланктона. Для анализа также использовались архивные данные. Обработку проб осуществляли по общепринятым в гидробиологии методикам. Также измеряли глубину, прозрачность, температуру, рН и электропроводность воды. Морфофункциональные группы фитопланктона выделяли согласно работам К.С. Рейнольдса с дополнениями Д. Падисак и Г. Борикса. Качество воды оценивали по индексу сапробности (S) согласно работам В. Сладечека, а также индексу сообщества (Q) согласно работам В.П. Семенченко и В.И. Разлуцкого.

В фитопланктоне озер было обнаружено 152 таксона рангом ниже рода. Альгофлора характеризовалась как зелено-синезелено-эвгленовая и была сформирована широко распространенными планктонными видами, индифферентными к галобности и кислотности среды, предпочитающими среднюю степень загрязнения воды легко окисляемыми органическими веществами. Численность фитопланктона на различных станциях озер изменялась от 2.23 до 2460.92 млн кл./л, а биомасса – от 0.75 до 43.22 г/м³. Доминирующие по биомассе виды водорослей относились к 6 функциональным группам (кодонам) фитопланктона – H₁, S₁, J, Lo, W₂, Y, биомасса каждого из них составляла не менее 10 % от общей биомассы. Таким образом, в каждом водоеме в период летней стагнации доминировал отличный от других комплекс водорослей, отражающий экологические условия данной водной экосистемы.

По уровню органического загрязнения, оцененному с использованием системы сапробности, воды исследованных озер относились к β-мезосапробной зоне и III классу качества («умеренно загрязнённые»). Оценка качества вод с применением морфофункциональной классификации показала, что значения Q составили для оз. Парковое 2.0±0.11 (с доминированием по биомассе водорослей кодонов J, W₂, Y), для оз. Счастливое 1.32±0.11 (Lo, H₁, W₂) и для оз. Лунское 0.58±0.07 (H₁, S₁), что соответствует «умеренному», «низкому» и «плохому» качеству вод соответственно.

Таким образом, широко используемый в системе государственного мониторинга поверхностных вод сапробиологический анализ не выявил различий в качестве вод исследованных водоемов. Комплексный подход к оценке качества воды с использованием морфофункциональных групп фитопланктона и индекса сообщества Q дал более полную информацию не только о видовом составе альгоценозов, формирующихся под воздействием различных сочетаний факторов среды, но и отразил отличия в качестве воды исследованных водоемов. На наш взгляд, данный метод является удобным и более точным инструментом для оценки качества вод и определения экологического состояния водоемов и водотоков.

Состояние макрозообентоса Щучьего залива Ладожского озера в 2019–2023 годах

Трифонова М.С.^{1*}, Курашов Е.А.^{1,2}, Барбашова М.А.¹

¹ Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок (Ярославская обл.)

* e-mail: mstrifonova@outlook.com

Щучий залив (61°05' N, 30°05' E) находится в северо-западной части Ладожского озера. Донные сообщества залива сформировались под влиянием сильного антропогенного воздействия. Сброс сточных вод Приозерского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) привёл к полному уничтожению экосистемы залива. После закрытия ЦБК в 1986 г. началось ее восстановление и в конце 1990-х гг. в заливе сформировалась новая экосистема.

В настоящее время в Ладожском озере активно идут процессы, связанные с проникновением и распространением в нем видов-вселенцев, что приводит к изменениям сообществ макрозообентоса. В заливе обитают два инвазивных вида амфипод байкальского происхождения *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899) и *Micruronus possolskii* Sowinsky, 1915. Гмелиноидес был впервые зарегистрирован в Ладожском озере в бухте Петрокрепость, а в 1989 г. – он был обнаружен в Щучьем заливе. Вид колонизировал всю литоральную зону озера, стал доминирующим компонентом бентоса во всех типах биотопов и привел к значительной трансформации экосистемы литорали. Микруропус впервые для Ладожского озера был зарегистрирован в Щучьем заливе в 2003 г., с тех пор наблюдается его активное распространение в литорали озера.

За период наблюдений с 2019 по 2023 гг. постоянными представителями донных биоценозов залива являлись представители групп Chironomidae и Amphipoda, их встречаемость 100 %. Из остальных групп макрозообентоса массовыми и наиболее часто встречающимися на всех станциях были Oligochaeta и Mollusca. У дамбы также часто отмечались Hirudinea и Ceratopogonidae, а на песчаной литорали – Trichoptera и Isopoda. Суммарная численность макрозообентоса в среднем по заливу составила 4036 ± 414 экз./м², а биомасса – 29.85 ± 7.49 г/м².

Средняя численность макрозообентоса была схожа на станциях у дамбы (3418 ± 752 экз./м²), в центре (3789 ± 639 экз./м²) и на выходе из залива (3446 ± 602 экз./м²). Средняя биомасса у дамбы и в центре равнялась 27.47 ± 14.92 г/м² и 25.43 ± 10.23 г/м² соответственно, а на выходе из залива наблюдалась минимальная биомасса (5.36 ± 1.56 г/м²). Преобладали хирономиды, их доля в биомассе бентоса составляла в среднем 47–49 %. На песчаной литорали количественные показатели бентоса были выше (5228 ± 1227 экз./м²; 61.96 ± 23.24 г/м²). Доминировали амфиподы (56 % биомассы бентоса).

Уровень количественного развития обоих байкальских вселенцев и их вклад в биомассу амфипод на различных биотопах варьировал. Плотность популяции и биомасса *G. fasciatus* менялись в широких пределах: 20–9100 экз./м², 0.01–26.62 г/м². На долю этого вида приходилось в среднем 51–77 % численности и 40–69 % биомассы всех амфипод. Уровень развития *M. possolskii* ниже. Численность колебалась от 20 до 1740 экз./м², биомасса – от 0.01 до 11.77 г/м². Его вклад в состав амфипод в среднем составлял 26–49 % численности и 31–60 % биомассы. Наибольшие показатели биомассы обоих видов-вселенцев наблюдались на песчаной литорали. Максимальный вклад в численность амфипод *M. possolskii* вносил в центре залива, а в биомассу – в центре и на выходе из залива.

Исследования последних лет в Щучьем заливе показали стабильность структуры донных сообществ. Амфиподы доминировали в составе донных биоценозов на мелководной, наиболее прогреваемой литорали.

Показатели состояния окислительного стресса (СОС) у пресноводных двустворчатых моллюсков сем. Unionidae и Dreissenidae

Холмогорова Н.В.^{1*}, Чуйко Г.М.²

¹ Удмуртский государственный университет, г. Ижевск

² Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина, пос. Борок (Ярославская обл.)

*e-mail: nadjaholm@mail.ru

В экотоксикологическом биомониторинге состояния водной среды широко используют двустворчатых моллюсков в качестве биоиндикаторов, поскольку они ведут малоподвижный или прикрепленный образ жизни, активные биофильтраторы и биоаккумуляторы, при этом загрязняющие вещества в их организме относительно медленно метаболизируют и выводятся [1–3]. Цель работы – проанализировать и обобщить собственные данные о показателях состояния окислительного стресса (СОС) у пресноводных двустворчатых моллюсков сем. Unionidae и Dreissenidae. Окислительный стресс – это состояние клетки, характеризующееся накоплением продуктов перекисной модификации биомолекул (белки, липиды и нуклеиновые кислоты) в результате их взаимодействия с активной формой кислорода (АФК) [4]. Количество АФК в организме, возрастает под действием стресс-факторов.

Исследовались моллюски *Unio pictorum*, *Anodonta cygnea*, *A. anatina*, *Dreissena polymorpha* и *D. bugensis*. Моллюски отлавливались в Рыбинском водохранилище и р. Иж (Удмуртская Республика). Для биохимических исследований у дрейссенид использовали мягкие ткани полностью, у унионид брались образцы мантии, жабры,

ноги, гонад, гепатопанкреаса и остатка тела. Исследовали показатели СОС: содержание общего водорастворимого белка, восстановленного глутатиона (ГЛТ), малонового диальдегида (МДА), а также активность ферментов: – каталазы (КАТ), глутатион-S-трансферазы (GST), глутатионредуктаза (ГР). Статистическую значимость различий оценивали методом дисперсионного анализа при $p = 0.05$ (ANOVA), коэффициент ранговой корреляции Спирмена рассчитывали при $p < 0.05$.

Установлено, что у дрейссены Рыбинского водохранилища не было статистически значимой зависимости значений биомаркеров от размера моллюсков в диапазоне 15–35 мм. Средние значения биомаркеров были следующие соответственно у *D. polymorpha* и *D. bugensis*: активность КАТ – 103.1 ± 3.3 и 263.5 ± 12.2 ; GST – 3.0 ± 0.5 и 9.7 ± 1.9 и ГР – 2.2 ± 0.2 и 2.1 ± 0.5 нмоль/мкг белка/мин; ГЛТ – 1.9 ± 0.4 и 1.7 ± 0.2 ; МДА – 2.6 ± 0.3 и 4.5 ± 0.9 пкмоль/мкг белка. Для Unionidae из р. Иж выявлена статистически значимая прямая зависимость ($r = 0.68-94$) значений биомаркеров от размера моллюска в диапазоне 52–95 мм у *A. anatina* и 42–88 мм у *U. pictorum*.

Для унионид из р. Иж средние значения биомаркеров в мантии, жабрах, ноге, гепатопанкреасе и остатке мягких тканей менялись в пределах соответственно у *U. pictorum*, *A. anatina* и *A. cygnea*: активность КАТ – 43.2–134.3, нет данных и 71.7–211.2 нмоль/мкг белка/мин; GST – 0.56–0.96, 0.20–0.96 и 1.9–3.0 нмоль/мкг белка/мин; ГР – нет данных; ГЛТ – 0.3–4.0, 0.14–0.28 и 13.1–32.0 пкмоль/мкг белка; МДА – 9.4–21.9, 4.0–7.8 и 1.5–7.6 пкмоль/мкг белка. Для унионид Рыбинского водохранилища средние значения биомаркеров в мантии, жабрах, ноге, гонадах и гепатопанкреасе менялись в пределах соответственно у *U. pictorum*, и *A. cygnea*: активность КАТ – 32.1–428 и 20.5–43.0 нмоль/мкг белка/мин; GST – 0.84–8.8 и 1.8–3.0 нмоль/мкг белка/мин; ГР – 2.2–8.8 и 0.6–2.2 нмоль/мкг белка/мин; ГЛТ – 2.2–9.8 и 3.4–6.0 пкмоль/мкг белка; МДА – 0.6–5.6 и 0.8–1.5 пкмоль/мкг белка. Заметных половых различий у исследованных видов моллюсков не обнаружено. Установлены межорганные различия в значениях биомаркеров у Unionidae, наибольшие значения в гепатопанкреасе и жабрах, наименьшие в ноге.

Литература

- [1] Лукьянова О.Н. Молекулярные биомаркеры. Владивосток: Изд-во ДВГАЭУ, 2001. 196 с.
- [2] Bolognesi C., Buschini A., Branchi E. et al. Comet and micronucleus assays in zebra mussel cells for genotoxicity assessment of surface drinking water treated with three different disinfectants // Sci. Total Environ. 2004. Vol. 333, No 1–3. P. 127.
- [3] Soldatov A.A., Gostyukhina O.L., Golovina I.V. Functional states of antioxidant enzymatic complex of tissues of *Mytilus galloprovincialis* Lam. under conditions of oxidative stress // Journal Evolutionary Biochemistry and Physiology. 2014. Vol. 50, No 3. P. 206–214.
- [4] Чуйко Г.М. Биомаркеры в гидроэкотоксикологии: принципы, методы и методология, практика использования // Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем: Учебное пособие / Под ред. проф. Д.Б. Гелашвили, проф. Г.В. Шургановой. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета, 2014. С. 310–326.

Сравнительная оценка адаптационной способности моллюсков *Unio pictorum* Нарочанских озер (Республика Беларусь) с разным трофическим статусом

Холодкевич С.В.^{1,3*}, Адамович Б.В.², Любимцев В.А.¹, Хотянович Ю.Н.²,
Чуйко Г.М.³

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

² НИЛ гидроэкологии Биологического факультета БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

³ Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок (Ярославская обл.)

*e-mail: kholodkevich@mail.ru

Одно из основных преимуществ биологических методов экологического мониторинга перед физико-химическими заключается в том, что они в состоянии давать комплексную оценку состоянию экосистемы в целом, а не только по отдельным качественным и/или количественным показателям. В частности, методы биомаркирования во многих случаях позволяют выявлять негативные изменения в экосистеме еще до того, как они примут необратимый характер. В соответствии с Водной Рамочной Директивой ЕС в качестве модельных объектов в оценке окружающей среды рекомендуется использовать двустворчатых моллюсков в качестве тест-организмов.

В ряде работ авторов показано, что измерение и анализ сердечной активности моллюсков, а также время восстановления их сердечного ритма после стрессовых нагрузок, позволяют определять степень их фильтрационной активности и адаптационной способности (здоровья). Это является биомаркером, показателем благополучия в экосистеме акватории, в которой они обитают и занимают важное место в экологической нише, как эффективные фильтраторы.

Объектами исследования в настоящей работе являлись Нарочинские озера: олиго-мезотрофное озеро Нарочь и эвтрофное озеро Баторино. Предмет исследований – адаптационная способность моллюсков *Unio pictorum*, обитающих в литорали этих озер. В качестве тест-воздействия использовано повышение солености озерной воды до 10‰ на 60 минут. В качестве биомаркеров, отражающих разные стороны реакции кардиосистемы моллюска на различные воздействия были выбраны: T1 – время задержки от момента первоначального погружения моллюсков в воду до момента времени, когда ЧСС от уровня стабильно низких значений (5–10 уд/мин) в течение 1 минуты повышается сразу на 10–20 уд/мин; M1 – усредненное за интервал времени 5 минут значение ЧСС вокруг максимального значения, достигаемого в течение от 3–4 до 10–215 минут после быстрого повышения ЧСС; M1(60мин) – аналогично M1, но через 60 минут после M1; T2 – аналогично T1, но после смены солоноватой воды на

исходную; M2 – аналогично M1, но для интервалов времени после смены воды; M2(60мин) – аналогично M1(60мин), но для интервалов времени после смены воды.

В результате проведенных исследований обнаружена тенденция к увеличению T1 в случае увеличения трофности. При аналогичном сравнении значений M1 и M2 наблюдаются противоположные изменения. Это указывает на то, что моллюски *Unio pictorum* при потенциально меньшем количестве пищи в озере Нарочь по сравнению с озером Баторино, осуществляют фильтрацию более интенсивно.

Таким образом, предложенный методический подход к экспресс-оценке текущего функционального состояния (фильтрационной активности) моллюсков из озер Нарочь и Баторино показал, что для обитающих в одной климатической зоне популяций пресноводных двустворчатых моллюсков: *Unio pictorum* удается наблюдать не только реально направленные различия для этих озер различного трофического статуса, но и проявления несхожих поведенческих стратегий их адаптации к воде с меньшим количеством планктона и детрита – в озере Нарочь, и с большим – в озере Баторино.

Влияние голодания двустворчатых моллюсков на результаты оценки состояния окружающей среды методами биомаркирования

**Чуйко Г.М.^{1*}, Любимцев В.А.², Холодкевич С.В.^{1,2}, Сизов Н.С.^{1,3},
Хотянович Ю.Н.⁴, Пьянзова Е.С.³, Димов Д.И.⁵**

¹ *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок (Ярославская обл.)*

² *Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической
безопасности РАН – СПб ФИЦ РАН, Санкт-Петербург*

³ *Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль*

⁴ *НИЛ гидроэкологии Биологического факультета БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

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

*e-mail: gchuiiko@ibiw.ru

Авторским коллективом было показано, что для оценок экологического состояния (здоровья) экосистем акваторий природных водоемов и водотоков могут быть использованы биомаркеры динамики частоты сердечных сокращений (ЧСС) пресноводных двустворчатых моллюсков. Эти биомаркеры можно наблюдать в ходе теста, разработанного авторами и включающего в себя кратковременное 1-часовое воздействие факторов, вызывающих осмотический или гипоксический стресс и проявление защитно-оборонительной реакции (закрытия створок моллюсков). Однако было обнаружено, что при интерпретации результатов таких тестов необходимо учитывать влияние на функциональное состояние моллюсков и таких базовых

факторов, как температура воды, насыщенность ее кислородом и содержание в воде пищи (фитопланктона и детрита). Проведенные в течение летних сезонов 2022–2023 гг. опыты с таким тестированием моллюсков видов *Dreissena polymorpha* и *Dreissena bugensis* из Рыбинского водохранилища с использованием в качестве стрессового тест-воздействия повышения солености воды до 10‰ показали, что динамику кардиоактивности в «фоновых» условиях интенсивной аэрации воды и в ходе реакции на воздействие можно регистрировать получая хорошо повторяющиеся характеристики динамики ЧСС при температуре воды от 12 до 26°C.

В результате анализа процесса тестирования адаптивной способности моллюсков данным методом были выделены следующие однозначно измеряемые характеристики (биомаркеры) динамики ЧСС: ЧСС_с – среднее значение ЧСС последние 30 минут до теста, Т – время задержки начала «быстрого» повышения ЧСС относительно момента времени возврата моллюсков в пресную воду, К – скорость повышения ЧСС, ЧСС_м – максимальное значение ЧСС, наблюдаемое сразу после перехода моллюска к режиму активной фильтрации и ЧСС₁ – значение ЧСС, наблюдаемое через 1 час после того, как было достигнуто указанное максимальное значение ЧСС.

Для сравнения параллельно с исследованиями кардиоритма в тканях моллюсков исследовалась динамика показателей состояния окислительного стресса (СОС): содержание малонового диальдегида (МДА) и восстановленного глутатиона, активности ферментов антиоксидантно защиты – супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (КАТ) и глутатионредуктазы (ГР). Сравнение показало, что ограниченное по времени (11 суток) «голодание» при температуре 22–26°C моллюсков не вызывает заметных изменений показателей СОС, но проявляется в изменении фильтрационной активности моллюсков, выявляемой по динамике биомаркеров ЧСС.

Работа выполнена в рамках плановой темы № г/р 121050500046-8

Реакция показателей состояния окислительного стресса и кардиоактивности у дрейссены (*Dreissena bugensis* Andrusov, 1897) на присутствие цианобактерий и их токсинов в воде в условиях хронического природного эксперимента

Чуйко Г.М.^{1*}, Сизов Н.С.¹, Шаров А.Н.^{1,3}, Чернова Е.Н.³, Холмогорова Н.В.⁴

¹ *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
пос. Борок (Ярославская обл.)*

² *Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, г. Ярославль*

³ *Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

⁴ *Удмуртский государственный университет, г. Ижевск*

* e-mail: gchuiko@ibiw.ru

Актуальная проблема водной экологии и гидробиологии – прогрессирующее «цветение» водных объектов, вызываемое интенсивным размножением цианобактерий; Этот процесс сопровождается выделением в воду цианотоксинов и их негативным влиянием на гидробионтов и качество среды их обитания. Дрейссениды, благодаря своему сидячему образу жизни и высокой фильтрационной способности, являются идеальным тест-организмом для оценки влияния «цветения» воды на водных животных с помощью биомаркеров состояния окислительного стресса (СОС) и кардиоактивности по частоте сердечных сокращений (ЧСС). Цель работы – исследовать реакцию биомаркеров СОС и ЧСС бугской дрейссены (*Dreissena bugensis* Andrusov, 1897) на «цветение» воды в условиях хронического природного эксперимента.

«Цветение» воды имитировали ~~создавали~~ в пластиковых лотках, помещенных в естественные условия, путем добавления суспензии цианобактерий из природного водоема. Численность цианобактерий подбирали таким образом, чтобы она соответствовала периоду «цветению» воды в Рыбинском водохранилище. Контролем служили лотки без добавления цианобактерий. В каждый лоток помещали по 100 моллюсков, выловленных в водохранилище до начала периода цветения. Отбор проб тканей моллюсков и воды для анализа проводили в начале эксперимента, на 3-и, 7-е и 14-е сутки.

Для оценки функционального состояния моллюсков определяли биомаркеры СОС: содержание малонового диальдегида (МДА) как показатель интенсивности образования активных форм кислорода (АФК), содержание восстановленного глутатиона (ГЛТ_в) и активности ферментов системы антиоксидантной защиты (АОЗ) – каталазы (КАТ), супероксиддисмутазы (СОД), глутатион-S-трансферазы (ГСТ) и глутатионредуктазы (ГР), как показатели интенсивности работы системы АОЗ. Величину ЧСС регистрировали неинвазивным методом с помощью оригинальной оптоволоконной плетизмографической системы до и после функциональной нагрузки, полученной в результате кратковременного (60 мин) осушения моллюсков.

Концентрацию микроцистинов в воде анализировали методом ВЭЖХ-МС. Детектировано 13 структурных вариантов микроцистинов. Максимальный вклад вносили аргинин-содержащие, из которых концентрация наиболее токсичного микроцистина MC-LR составляла 0.6–2.3 мкг/л. В контрольных лотках цианотоксины не обнаружены.

Ответы разных биомаркеров СОС носят разнонаправленный характер и проявляются в разное время после начала воздействия. В начале (3 суток) система АОЗ моллюсков активируется и успешно справляется с нейтрализацией образующихся АФК. Однако к концу эксперимента (14 сутки) эффективность её функционирования снижается, что приводит к усилению процесса образования АФК. Моллюски, подвергнутые влиянию цианотоксинов статистически значимо дольше восстанавливались после осушения: время восстановления ЧСС в контроле и опыте соответственно составляло 43 ± 5 и 78 ± 10 мин.

Работа выполнена в рамках плановых тем № з/р 121050500046-8, 121051100099-5.

Пространственно-временная динамика видовой структуры планктонных сообществ равнинного водохранилища

Шурганова Г.В.*, Гаврилко Д.Е., Жихарев В.С., Кудрин И.А., Золотарева Т.В.

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород

*e-mail: galina.nngu@mail.ru

Характерной особенностью водохранилищ является высокая динамичность развития, позволяющая на протяжении жизни одного поколения исследователей проследить этапы формирования их гидробиоценозов, а также выявить особенности количественных и качественных перестроек в пространстве и во времени. При активном многоплановом воздействии на водохранилища и использовании их в различных целях гидробиоценозы водохранилищ не стабилизируются. Для Чебоксарского водохранилища нами получена наглядная картина динамики сообществ зоопланктона за 40-летний период его существования.

Основываясь на развиваемых представлениях о видовой структуре сообществ зоопланктона, как многомерной динамической системе, на акватории Чебоксарского водохранилища выявлены пространственно непрерывные области, характеризующиеся сходством видовой структуры. Эти области мы считаем участками пространственного расположения отдельных планктонных сообществ. Исходными данными для многомерного анализа были списки видов зоопланктона с указанием численности.

Водные массы Чебоксарского водохранилища формируются из двух потоков: левобережного, поступающего из Горьковского водохранилища, и правобережного, привносимого р. Окой. Границы окского и волжского потоков на акватории средней речной части Чебоксарского водохранилища с самого начала его создания претерпевали значительные изменения. Комплекс доминирующих видов зоопланктона в окском потоке на протяжении многих лет оставался неизменным, преобладали коловратки рода *Brachionus* Pallas, 1766, такие виды как *B. calyciflorus* Pallas, 1766 и *B. angularis* Gosse, 1851. Видовая структура волжского ценоза значительно изменялась в межгодовом аспекте. В последние годы исследований доминирующим видом этого сообщества был лимнический рачок-фильтратор *Daphnia galeata* G.O. Sars, 1864.

На начальном этапе существования водохранилища происходили существенные перестройки пространственного размещения сообществ и возникновение новых зоопланктоценозов. Через двадцать лет его существования выделялись четыре сообщества зоопланктона с характерной для них видовой структурой: лево- и правобережные речные, занимающие лево- и правобережные участки водохранилища от устья р. Оки до г. Лысково, переходный и озерный – на акватории водохранилища от г. Лысково до г. Васильсурска и от г. Васильсурска до Чебоксарской ГЭС.

В результате многолетних мониторинговых исследований видовой структуры Чебоксарского водохранилища выявлена её межгодовая динамика вплоть до настоящего времени. Перестройки видовой структуры зоопланктонных сообществ, отражающие воздействие природных и антропогенных факторов и сопровождающиеся изменением занимаемых зоопланктоценозами акваторий, свидетельствуют о продолжающихся активных динамических процессах в экосистеме водохранилища.

На протяжении последних десяти лет на акватории Чебоксарского водохранилища не наблюдалось формирования переходного ценоза, а озерный тип стабильно занимал акваторию вплоть до первых крупных разливов выше впадения р. Суры. При этом сохранялись дискретные по видовой структуре сообщества зоопланктона. Произошло значительное усиление лимнофильных черт во всех сообществах, что, по-видимому, представляет собой следующий этап направленного изменения видовой структуры зоопланктоценозов.

СЕКЦИЯ 3 – ХИМИЯ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР

Формирование донных отложений озер Карелии в современных условиях

Белкина Н.А.

Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

e-mail: bel110863@mail.ru

Формирование донных отложений озер Карелии в настоящее время происходит в условиях умеренного влажного климата. Пребывание воды в течение года преимущественно в жидком фазовом состоянии создает предпосылки для множества процессов физической, химической и биологической дифференциации вещества на всех стадиях озерного седиментогенеза. Из факторов, определяющих седиментационную обстановку в озерах, в первую очередь необходимо отметить геологические особенности региона (расположение на границе Фенноскандинавского кристаллического щита и Русской платформы, сложенных магматическими и метаморфическими породами архейского и протерозойского возраста и осадочными палеозойскими породами, и перекрывающим их чехлом рыхлых четвертичных отложений). Геолого-геоморфологическое строение территории, обладающей развитой гидрографической сетью, влияет на гидрологический режим озер, а строение озерных котловин определяет термические, динамические и биологические особенности конкретного водоема. Индивидуальные особенности накопления осадочного вещества проявляются в зависимости от расположения озер на (1) ледораздельных возвышенностях, (2) озерных равнинах и (3) в районах с денудационно-тектоническим рельефом. Сложная морфология котловин и большие размеры Онежского и Ладожского озер определяют гетерогенность процесса осаждения взвесей ввиду присутствия в них локальных седиментационных бассейнов. Господство силикатных горных пород создало благоприятные условия для накопления в донных отложениях кремния, поступающего в водоемы в составе взвешенного и растворенного вещества, что в свою очередь, стимулирует развитие диатомовых водорослей с последующим накоплением не только обломочного, но и биогенного кремния в донных отложениях. Высокое содержание в породах железа и марганца в сочетании с подзолообразовательными почвенными процессами является причиной выноса этих элементов в составе органоминеральных комплексов в поверхностные воды и осаждения на дне озер (в том числе в виде железо-марганцевых конкреций). Углерод поступает в донные отложения в составе детрита и нерастворимых гумусовых веществ.

Анализ данных химического состава поверхностного слоя донных отложений 126 водоемов Карелии показал, что в настоящее время на территории региона доминируют озера со смешанным типом седиментогенеза: железо-кремне-гумусовый, железо-гумусо-кремниевый или гумусо-железо-кремниевый. Мобилизация, транспортировка и осаждение элементов, имеющих химическое сродство к силикатным минералам, гумусу и железу (Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Sr, Ni, Mo, Co, S, Cu, Zn, As, Se, Cd, Sn, Sb, Pb), контролируются особенностями поведения в водной среде основных компонентов донных отложений (кремния, железа и органического вещества). Редкие (рассеянные) элементы поступают в донные отложения с обломочным материалом. Неравномерное распределение и разнообразие осадков определяются зональными (ландшафтно-климатические условия) и азональными (геологические условия водосборных территорий, морфология озерных котловин, антропогенная нагрузка) факторами [1].

Литература

[1] Белкина Н.А. Закономерности осадконакопления и раннего диагенеза донных отложений в водоемах юго-восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита / Автореферат диссертации на соискание степени доктора географических наук. СПб., 2021. 48 с.

Изотопный состав воды Онежского озера и природных вод его водосбора

Бородулина Г.С.^{1*}, Токарев И.В.²

¹ *Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск*

² *Научный парк СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

* e-mail: bor6805@yandex.ru

В 2009–2018 гг. изучены стабильные изотопы воды (дейтерий и кислород-18) в атмосферных осадках, Онежском озере и его притоках, а также в подземных водах на водосборе озера. Выявлено, что взвешенный среднегодовой изотопный состав атмосферных осадков в Петрозаводске составил $\delta^{18}\text{O} = -11.7\text{‰}$ и $\delta^2\text{H} = -84\text{‰}$ и изменялся от -30.9 до -4.1 ‰ для $\delta^{18}\text{O}$ и от -23 до -22 ‰ для $\delta^2\text{H}$. Зависимость между среднегодовым значением изотопного состава осадков и средней годовой температурой воздуха за период наблюдений описывается уравнением $\delta^{18}\text{O} = 0.71T - 15.7$, что достаточно близко к глобальной изотопно-температурной зависимости $\delta^{18}\text{O} = 0.69T - 13.6$.

Изотопный состав воды в Онежском озере относительно однородный: от -11.5 до -9.3 ‰ для $\delta^{18}\text{O}$ и от -85 до -71 ‰ для $\delta^2\text{H}$. В заливах изотопный состав воды варьировал более существенно, чем в центральной части озера за счет речного стока во время весеннего паводка. В конце лета выпадение изотопно обогащенных атмосферных осадков и неравновесное фракционирование изотопов при испарении приводят к увеличению в озерной воде концентраций дейтерия и кислорода-18, а фигуративные точки на диаграмме $\delta^2\text{H}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ сдвигаются выше глобальной линии метеорных вод. Проведены эксперименты по оценке влияния испарения на изотопное обогащение остаточной воды. Сравнение полученных изотопных данных с экспериментальной функцией показало, что в весенне-летний период обычно теряется от 4 до 12 % воды соответственно.

Содержание дейтерия и кислорода-18 в притоках варьирует в более широком диапазоне, чем в Онежском озере: $\delta^{18}\text{O} = -14.4..-9.1$ ‰, $\delta^2\text{H} = -102..-73$ ‰. Наблюдается четкая дифференциация состава воды большинства притоков по сезонам. Летом и осенью содержание тяжелых изотопов в речной воде значительно выше, чем зимой, из-за испарения и влияния летних осадков. Утяжеление изотопного состава воды притоков прямо пропорционально озерности и заболоченности водосбора, причем влияние заболоченности более значимо. Зимой изотопный состав речной воды оказывался существенно легче среднегодового состава атмосферных осадков из-за перехода режима рек на подземное питание. Начальный изотопный состав воды в притоках можно оценить по точке пересечения линии аппроксимации данных зимнего опробования рек и локальной линией метеорных вод: $\delta^{18}\text{O} \approx -14.1$ ‰ и $\delta^2\text{H} \approx -103$ ‰. Эта величина близка к среднему составу подземных вод региона $\delta^{18}\text{O} \approx -13.5$ ‰ и $\delta^2\text{H} \approx -98$ ‰ и указывает на подземный источник формирования значительной части речного стока. Некоторая изотопная обедненность расчетного состава исходной речной воды по сравнению с подземными водами обусловлена вкладом весенних талых вод, которые оказывают существенное влияние на водный баланс озера.

Продолжение наблюдений и анализ полученных данных позволит выполнить расчеты изотопного баланса Онежского озера.

Распределение гранулометрического состава и органического вещества донных отложений Кондопожского залива (Онежское озеро)

Вахрамеева Е.А.* , Жибарева Т.А.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск

*e-mail: vakhr-elena@yandex.ru

Онежское озеро и крупные его заливы подвержены влиянию многочисленных притоков, несущих с водосбора воду, обогащенную гуминовыми веществами и стоками крупнейшего Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), расположенного на берегу Кондопожского залива. Кондопожский залив – один из крупнейших и глубоководных районов Онежского озера, характеризующийся сильной расчлененностью береговой линии и сложным рельефом дна.

Целью данного исследования является изучение гранулометрического состава донных осадков (ДО) и распределение в них органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в антропогенно нагруженном заливе.

Гранулометрический состав ДО озерных экосистем является одним из основных параметров, характеризующих типы осадков, а также дающих возможность судить о механизме процесса седиментации и динамике водной среды. Гранулометрический состав ДО озер определяли в соответствии с методикой МИ № 88-16365-010-2017. Расчет содержания фракций проводили на абсолютно-сухую навеску образца. Относительная погрешность измерения для всех гранулометрических фракций составляет от 19 до 29 %.

Отбор кернов ДО в Кондопожском заливе выполнен в августе 2015 г. совместно с сотрудниками КарНЦРАН по разрезу К3–К6. Станция К3 расположена на расстоянии 1 км от выпуска сточных вод Кондопожского ЦБК в вершинной части залива, а станция К6 – на расстоянии 24 км, глубина варьирует от 12 до 78 м.

Анализ полученных данных гранулометрического состава показал, что ДО кернов представлены чередующимися слоями серого и коричневого пелитового и алевро-пелитового ила. Так, в ДО (ст. К50, К6) по всей глубине кернов с увеличением глубины залива и удалением от выпуска сточных вод Кондопожского ЦБК возрастает содержание пелитовой фракции (до 98.02 %), т.е. осадок становится более отсортированным и мелкодисперсным. Керны ДО, отобранные на ст. К3 и К4, представлены алевро-пелитовыми илами с варьированием алеврита от 18.18 до 55.94 %. Верхние слои керна К3 содержат жидкий серый ил с включением древесных волокон, поступающих со сточными водами ЦБК. Низлежащие слои кернов с этих станций содержат до 78 % пелита. Все отобранные пробы сильно обводнены, влажность осадков варьирует от 73.6 до 94.5 %.

ДО алевро-пелитового и пелитового состава содержат повышенные концентрации $C_{\text{орг}}$ – от 1.21 % в нижних слоях керна до 11.18 % в поверхностном слое на ст. КЗ. Диапазон содержания органического азота ($N_{\text{орг}}$) выделяется большим разбегом от 1.81 % в поверхностном слое до «не обнаружено» внизу керна.

Соотношение $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ в ДО отобранных кернов, отражающее удельный вес органического вещества аллохтонного и автохтонного происхождения, варьирует в широком диапазоне от 6 до 81. Установлено, что на ст. К50 автохтонное органическое вещество ДО образуется в самом заливе, а на остальных станциях присутствует поступление органического материала со стоками ЦБК и с водосборной площади залива. Общей закономерностью для всех исследованных ДО является наличие обратной взаимосвязи между $C_{\text{орг}}$ и содержанием пелитовой фракции с коэффициентом корреляции $r_{0.95} = -0.36$ ($n = 32$), что соответствует содержанию мелких минеральных частиц глины.

Гуминовое вещество и процессы гумификации в донных отложениях озер полярных регионов

Гузева А.В.

Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: olina2108@mail.ru

Гумификация – универсальный процесс трансформации биологического материала в природе, протекающий в почвах, каустобиолитах и донных отложениях. В результате гумификации растительных и животных остатков образуются гуминовые вещества. Они играют ключевую роль в глобальных биогеохимических циклах, так как их формирование является фактором стабилизации органического вещества в природных средах. На строение и химические свойства гуминовых веществ влияет обстановка, в которых они образуются, в первую очередь, климат и связанный с ним период биологической активности. Полярные регионы представляют интерес с точки зрения изучения процессов гумификации в экстремальных климатических условиях.

Цель исследования – сравнительный анализ состава и структуры гуминовых кислот, формирующихся в донных отложениях озер Арктики и Антарктики.

Пробы донных отложений озер были отобраны с помощью дночерпателя. Гуминовые кислоты из отложений извлекались в соответствии с международной методикой IHSS (International Humic Substances Society). Далее анализировался их состав (CHN-анализ), а также молекулярное строение (^{13}C ЯМР-спектроскопия и ИК-спектроскопия).

Результаты показывают, что в донных отложениях озер Арктики и Антарктики образуется щелочно-растворимая фракция гуминовых веществ (гуминовые кислоты),

которая может быть выделена в достаточных для инструментального анализа количествах. В изученных озерах гуминовые кислоты имеют светлую окраску, характеризуются слабой степенью зрелости молекул, а также сохраняют в структуре высокую долю полисахаридных фрагментов. Гумификация протекает в условиях слабой биохимической активности. В то же время, в оазисах Антарктики озерные экосистемы иногда являются единственной средой, где существуют условия для полноценного синтеза гуминовых веществ.

Карбонатная система воды Ладожского озера в условиях меняющегося климата

Гусева М.А.¹*, Крылова В.Ю.²

¹ Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГОСНИОРХ» им. Л.С. Берга),
г. Санкт-Петербург

² Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: velapandere@gmail.com

В современный период наблюдений в воде Ладожского озера отмечается повышение концентрации растворенного неорганического углерода в воде по сравнению с предшествующим периодом наблюдений 1981–2013 гг. Основные компоненты карбонатной системы $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{2-}$ в воде озера в настоящее время представлены в основном растворенным углекислым газом и гидрокарбонат-ионом. Поскольку карбонатное равновесие, с одной стороны, регулирует величину рН, а с другой – может, определяться величиной рН, было рассмотрено также межгодовое изменение водородного показателя в четырёх различающихся по своим гидрологическим характеристикам зонах озера и показана продолжающаяся тенденция к его уменьшению.

Расчетный метод с использованием соотношений кажущегося дефицита кислорода и углерода показал, что увеличение содержания растворенного неорганического углерода в ряде случаев было выше, чем это могло быть обеспечено только окислением органического вещества и выделением углекислого газа в процессе деструкции. Данное явление, возможно, объясняется повышением внешнего стока CO_2 в Ладожское озеро. Аналогичная тенденция увеличения концентрации CO_2 отмечалась также в некоторых сходных по режиму пресноводных димиктических озерах, таких, как Онежское [1].

Литература

[1] Калинкина Н.М., Теканова Е.В., Сабылина А.В., Рыжаков А.В. Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2019. №. 1. С. 62–72.

Гидрохимическая характеристика водных систем западного Приладожья

Игнатьева Н.В.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: natali_ignatieva@mail.ru

В 2019–2023 гг. было выполнено комплексное сезонное исследование водных систем на территории водосборного бассейна Ладожского озера, прилегающей к его западному побережью. В западном Приладожье выделено 5 ландшафтов [1]: I – Лемболовский камовый ландшафт; II – Южно-Приладожский ландшафт озёрно-ледниковых заболоченных песчаных равнин; III и IV – Приозерский и Привуоксинский ландшафты озёрно-ледниковых песчаных равнин; V – сельговый ландшафт Северо-западного Приладожья. Исследования, охватившие полный спектр ландшафтов, выполнены на восьми водных системах, шесть из которых являются озёрно-речными (р. Авлога с озёрами Мадалаярви (озеро истока) и Волоярви; р. Морье с оз. Хепоярви (озеро истока); оз. Нарядное – р. Сёмужья; оз. Гусиное с оз. Болотным и руч. Прозрачным; оз. Лопастное – руч. Черный; оз. Узкое – ручей б/н), две – речными системами (р. Вьюн (приток р. Бурной); правобережные притоки р. Вуоксы (реки Булатная, Сосновка, Лосевка, ручьи Тихий и Щучий)).

Установлено, что формирование химического состава воды и гидрохимический режим исследованных водных систем, определяется, главным образом, не ландшафтной принадлежностью водной системы, а конкретными условиями на водосборе и антропогенным воздействием на тот или иной её участок. Ландшафтная принадлежность является определяющей только в формировании основного ионного состава водных систем. Исследованные водные системы в основном являются низкоминерализованными, что предопределяет их уязвимость по отношению к внешним воздействиям. Наименее минерализованными являются водные системы озёр Нарядного, Болотного, Гусиного и Лопастного, расположенные в ландшафтах северо-западного Приладожья. Исключением является высокоминерализованное оз. Узкое, которое по результатам исследования предварительно признано меромиктическим.

Для рек Авлоги, Морье, Вьюна и Сосновки закономерностей изменения концентраций химических веществ от верхнего течения рек к нижнему, обусловленных действием природных факторов, не выявлено. Рост концентраций отдельных

компонентов (главным образом, содержания биогенных элементов) связан с локальным антропогенным воздействием. Несмотря на наличие постоянно действующих источников загрязнения на отдельных участках рек, самоочищающая способность их достаточно высока. Для рек и ручьев, вытекающих из озёр Нарядного (р. Сёмужья), Гусиного, Лопастного и Узкого, расположенных в северо-западной части Приладожья и впадающих непосредственно в Ладожское озеро, характерно обогащение вод соединениями биогенных элементов и органическим веществом от истоков к устьевым участкам. Таким образом, определяющее влияние на химический состав их вод оказывает поступление веществ с частных речных водосборов. Трофический статус по фосфору озёр Мадалаярви, Воляярви и Гусиного определен как эвтрофный, Нарядного – мезо-эвтрофный, Хепоярви, Лопастного и Узкого – мезотрофный, Болотного – ацидотрофный. В основном для озёр характерно фосфорное лимитирование первичного продуцирования. Благодаря низкому расходу воды исследованных рек, принадлежащих к категории малых, и высокой самоочищающей способности влияние исследованных водных систем на качество воды Ладожского озера пренебрежимо мало.

Литература

[1] Исаченко А.Г. Ландшафты. // Природа Ленинградской области и её охрана. Л.: Лениздат, 1983. С. 164–175.

Биогеохимия серы в экосистеме озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море). Результаты экспедиционных работ 2018–2019 годов

Кокрятская Н.М.^{1*}, Лосюк Г.Н.¹, Краснова Е.Д.²

¹ *Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск*

² *МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

e-mail: nkokr@yandex.ru

Озеро Могильное (69°19'11" N, 34°20'55" E), расположенное на острове Кильдин в Баренцевом море – уникальный гидрологический памятник природы федерального значения. Водоем является реликтовым, т.е. остатком морского залива, отделившегося от моря около полутора тысяч лет назад каменной перемычкой, но до сих пор сохраняющим подземную связь с морем. Кроме того, это одно из немногих меромиктических озер за Полярным кругом, которые имеют устойчивую не перемешивающуюся многослойную структуру из-за разной плотности слоев воды по глубине. В озере Могильном водная толща сохраняет слоистость уже более полутора тысячелетий.

Начиная со второй половины XX века, в водоеме отмечен тревожный тренд изменений в гидрологической системе – пресный поверхностный слой истончается и становится более соленым, а сероводород поднимается все выше. Для изучения современного состояния, оценки изменений, происходящих в экосистеме озера, в разные сезоны 2018–2019 гг. под эгидой РГО проведены комплексные исследования, включавшие, в том числе, работы по изучению поведения серы в биогеохимических процессах, протекающих в водоеме. На трёх станциях в разных частях акватории озера были отобраны пробы воды (по горизонтам погружным насосом с размеченным кабелем и поликарбонатным горизонтальным батометром) и донных отложений (ударной прямоочной трубкой).

Результаты проведённых исследований подтвердили, что, начиная с 1901 г., в озере Могильном прогрессирует сероводородное заражение, которое выражается в увеличении его концентрации в придонной зоне и подъеме границы его распространения. По сравнению с 2000-ми годами опресненный поверхностный слой стал на 1 м тоньше, а солёность в нем возросла на несколько единиц. Сероводородная зона поднялась на 1 м и в настоящий момент занимает половину глубины озера. Нарастает и его концентрация – в июне 2019 г. зарегистрировано максимальное для этого водоема содержание сероводорода – 227 мг/л.

Донные осадки по данным гранулометрического анализа алевро-пелитовые в поверхностных горизонтах, а по мере погружения в их толщу сменяются на песчаный алеврит. Отмечена взаимосвязь между количеством пелитовой фракции, особенно её наиболее тонкой фракции (< 0.001 мм) и влажностью осадков. Содержание органического вещества, оценённое по количеству органического углерода, максимально в поверхностных илистых горизонтах (2.0–4.2 %). Величины соотношения $C_{\text{орг}}/N_{\text{орг}}$ (в среднем 5) предполагают значительную планктоногенную долю в составе органического вещества. Определено содержание соединений восстановленной серы, в которые трансформируется сероводород, образующийся в ходе бактериальной сульфатредукции, а также содержание способного к взаимодействию с ним реакционноспособного железа. Максимальное количество того и другого приурочено к обогащенным органическим веществом поверхностным горизонтам осадков. Во всех случаях в составе ΣS_{H_2S} преобладающей формой был пирит, что косвенно свидетельствует об активном протекании в отложениях озера Могильное процесса бактериальной сульфатредукции. Можно отметить, что полученные данные по распределению форм восстановленной серы и реакционноспособного железа в донных осадках озера Могильного аналогичны данным для верхних слоев морских осадков с микроаэрофильными условиями.

Хлорорганические соединения в озерных экосистемах на разной стадии отделения от Белого моря

Колпакова Е.С.* , Вельямидова А.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск

*e-mail: kolpelen@yandex.ru

Присутствие хлорорганических соединений (ХОС) в компонентах природных экосистем длительное время связано не только с техногенными факторами, но и естественным их образованием в результате хлорирования органического вещества при взаимодействии с хлорид-ионами и в процессах ферментативного продуцирования. Типичными представителями ХОС являются обширная группа хлорфенольных соединений (ХФС) и летучий хлорированный углеводород – хлороформ. ХФС являются ионогенными соединениями с разной степенью гидрофобности, липофильности и кислотности. Хлороформ, обладая малой растворимостью в воде и низкой липофильностью, оказывает негативные эффекты при воздействии на биоту и человека. Активными продуцентами ХОС являются бурые водоросли северных морей, планктон, находящийся в толще воды, диатомовые водоросли и цианобактерии.

Объектами исследования являются вода и донные осадки малых озер с разной степенью отделения от Белого моря: Нижнее Ершовское, Трехцветное и Большие хрусломены. Пробы воды и донных осадков для исследования отбирались в марте 2019 г. сотрудниками ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН в ходе экспедиционных работ.

Анализ проб воды на содержание хлороформа проводили согласно МИ № 88–16365–002–2014. Анализ проб воды и донных осадков на содержание индивидуальных ХФС проводился на газовом хроматографе «Кристалл 5000.1» с электрозахватным детектором при использовании кварцевой капиллярной колонки с неполярной неподвижной жидкой фазой ZB-5 (30 м x 0.32 мм).

В воде исследованных озер среди ХФС были идентифицированы только хлорированные фенолы, компонентный состав которых представлен рядом от моно- до тетрахлорзамещенных фенолов. Наибольшее содержание хлорированных фенолов было установлено в воде и донных осадках озер с доказанной меромиктической структурой Трехцветное и Большие хрусломены. В составе хлорированных фенолов доминировали 2-хлорфенол, 2,4-дихлорфенол и 2,4,6-трихлорфенол. Озеро Нижнее Ершовское отличалось невысокими концентрациями хлорированных фенолов, представленными главным образом 2-хлорфенолом и 2,4,5-трихлорфенолом

Хлороформ был найден во всех исследованных пробах, в концентрациях от 0.06 до 0.99 мкг/дм³. Для исследованных озер установлены закономерности к увеличению концентраций хлороформа в воде по глубине, что может быть обусловлено его поступлением с грунтовыми водами из почв водосборных площадей и образованием водными продуцентами. Компонентный состав ХОС в озерных экосистемах на разной

степени отделения от Белого моря обусловлен преимущественно природными источниками их образования.

Особенности вещественного состава снежного покрова бассейна Онежского озера

**Кулик Н.В.^{1*}, Ефременко Н.А.¹, Белкина Н.А.¹, Страховенко В.Д.²,
Гатальская Е.В.¹, Малов В.И.²**

¹ *Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск*

² *Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск*

*e-mail: nadiet11@yandex.ru

В работе представлено обобщение данных об особенностях вещественного состава снежного покрова бассейна Онежского озера. Изучено влияние атмосферных осадков на поступление вещества в Онежское озеро. По результатам химического анализа снеготалой воды показано, что все исследованные пробы относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Водородный показатель талой воды близок к среднему значению рН для Европейской территории России. Наблюдается взаимосвязь между значением рН и общей минерализацией снеговой воды. Несмотря на относительно близкие концентрации элементов в пробах, ее ионный состав значительно различается в зависимости от места отбора. Для исследованных осадков характерно высокое содержание биогенных элементов. Максимальные значения $P_{\text{общ}}$ отмечены для снега г. Кондопога. Азот присутствует в снеге преимущественно в составе соединений минеральной природы и лишь в незначительной степени в виде азотсодержащих органических соединений. В талой воде были получены концентрации металлов, характерные для атмосферных осадков Карелии.

Количество взвешенного вещества в большой степени связано с выпадением взвешенных частиц грубодисперсных аэрозолей под воздействием гравитационных сил непосредственно из атмосферы и контакте со снежным покровом. Для отобранных проб характерно их низкое содержание. Увеличение количества взвеси для урбанизированных территорий может быть связано с выпадением пыли и сажи от автомобильного транспорта и тепловых станций, а также с использованием антигололедных средств на основе смеси песка и соли. Города Петрозаводск и Кондопога являются узловыми центрами всех производственных и транспортных потоков в Республике Карелия, что обуславливает повышенные концентрации тяжелых металлов во взвешенном веществе урбанизированных территорий и их окрестностей по отношению к остальным районам отбора проб.

Впервые проведенное исследование минерального состава рассеянного осадочного вещества снеготалых вод (СЭМ) показало неравномерное распределение

частиц разной размерности, их степени окатанности (в основном остроугольные частицы неправильной формы) и их соотношения с органическим веществом. Установлено, что материал взвеси снеготалых вод представлен преимущественно в основном биогенной или углеродной рентгеноаморфной массой в ассоциации частиц обломочных минералов. Рентгеноаморфная масса содержит биодетрит, цисты, пыльцу растительных сообществ и частицы, состоящие почти на 100 % из аморфного углерода, которые на рентгеновских дифрактограммах дают рентгеноаморфное гало в интервалах углов от 20 до 30°. Во всех пробах встречены мелкие частицы, чаще всего неправильной или округлой формы, сложенные самородными металлами или сплавами, минералами гидроокисла или окисла железа, титана и крупные отдельные агрегаты с оплавленными краями (шлак) алюмосиликатного состава (более 20 мкм). Скорее всего, данные частицы имеют техногенное происхождение, но также возможно космогенное происхождение для Cr-Ni и Fe-Ti частиц.

Исследование было выполнено в рамках выполнения Государственного задания ИВПС КарНЦ РАН при поддержке проекта РФФИ №19-05-50014 на научном оборудовании ЦКП КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) и ЦКП МИИ СО РАН (г. Новосибирск).

Оловоорганические соединения в донных отложениях Ладожского озера

Кухарева Г.И.

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: galina-kgi@yandex.ru

В число многочисленных составляющих антропогенной нагрузки на уникальную экосистему Ладожского озера входят разнообразные техногенные органические загрязняющие вещества, не определяемые системами рутинного контроля. Многие из этих соединений или групп соединений признаны экотоксикантами – химическими факторами, оказывающими негативное воздействие на компоненты экосистемы и способными к накоплению в объектах окружающей среды.

К экотоксикантам, в частности, относятся оловоорганические соединения (ООС), которые широко используются в промышленности и сельском хозяйстве. Триалкил-замещенные ООС проявляют биоцидные свойства, их используют в противообрастательных красках для судов и в качестве пестицидов. Моно- и дизамещенные применяют в основном как стабилизаторы при производстве пластиков. ООС проявляют как острую, так и хроническую токсичность для гидробионтов. Концентрирование в рыбе и моллюсках создает опасность отравления организмов

более высоких трофических уровней, включая человека. ООС малорастворимы в воде, осаждаясь на дно водоемов, могут десятилетиями накапливаться в донных отложениях в исходной форме или в форме продуктов деградации, которая в низкотемпературных условиях протекает замедленно [1].

В работе проведены исследования количественного содержания отдельных ООС и их профилей (процентного соотношения всех определяемых ООС) в пробах донных отложениях глубоководной и литоральной зон Ладожского озера. Количественное определение ООС в форме летучих производных осуществлялось методом газовой хроматографии/масс-спектрометрии с использованием хроматомасс-спектрометра единичного разрешения QP 2010 (Shimadzu) согласно методике [2].

Впервые полученные для Ладожского озера результаты выявили значительные различия в профилях ООС, определенных для донных отложений литоральной и глубоководной зон. В прибрежной зоне было зарегистрировано присутствие в детектируемых количествах диоктил-, трифенил- и трициклогексиллолова, что может быть связано с поступлением сельскохозяйственных стоков с прибрежных территорий и загрязненностью прибрежных вод пластиковым мусором. Для глубоководных (судоходных) зон характерно присутствие компонента противообратательных покрытий трибутилолова и, в большей степени, продуктов его деградации моно- и дибутилолова.

Автор благодарит сотрудников ИНОЗ РАН за предоставленные для исследования пробы донных отложений.

Исследование проведено в рамках темы ГЗ № 122041100086-5.

Литература

[1] de Carvalho R., Santelli R. Occurrence and chemical speciation analysis of organotin compounds in the environment: A review // Talanta. 2010. Vol. 82. P. 9–24. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2010.04.046>

[2] ISO 23161:2018. International Organization for Standardization. Soil Quality – Determination of selected organotin compounds – Gas chromatographic method.

Особенности распределения ртути в донных отложениях озер с различной степенью антропогенной нагрузки

Ларина Н.С.^{1*}, Канюкова А.М.¹, Ларин С.И.², Белоусова Ю.О.¹

¹ Тюменский государственный университет, г. Тюмень

² Институт криосферы Земли ТЮМНЦ СО РАН, г. Тюмень

* e-mail: n.s.larina@utmn.ru

Главной особенностью донных отложений является их способность аккумулировать органические и неорганические вещества вследствие сложных физико-химических процессов [1]. Накапливая загрязнения, поступающие в водоем в течение длительного периода, донные отложения являются индикатором экологического состояния территории [2, 3]. Ртуть способна накапливаться в донных отложениях в двухвалентной форме в комплексах с хлоридами, сульфидами или в органическом веществе [4]. Это делает оценку содержания ртути в донных отложениях актуальной задачей [5, 6].

Целью данной работы являлось выявление закономерностей послойного распределения содержания ртути в донных отложениях озер Ханты-Мансийского АО (озера Томтальтур и Долгий Сор) и озер города Тюмени (озера Кривое, Круглое и Песьяное). Определение содержания ртути в донных отложениях озер проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Средняя концентрация ртути в донных отложениях исследованных озер не выходит за пределы фоновой концентрации незагрязненных озер, за исключением оз. Круглое. Концентрация ртути в донных отложениях озер Долгий Сор и Томтальтур, расположенных вне населенных пунктов, ниже, чем в городских озерах Кривое, Круглое и Песьяное. Однако концентрация ртути в верхнем слое донных отложений озера Томтальтур имеет аномально высокое значение, что может быть связано с увеличением нефтеразработок, ведущихся в данном районе. При определенных условиях существует возможность перехода ртути из донных отложений в водную толщу (озера Долгий Сор и Песьяное). Фракционное разделение образцов донных отложений озера Долгий Сор по размеру частиц позволило выделить преобладающие фракции с размерами частиц 100–200 мкм, 200–315 мкм и 315–630 мкм. Определение концентрации ртути в каждой фракции показало, что с уменьшением размера частиц концентрация ртути увеличивается.

Литература

[1] Тацкий Ю.Г., Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В. и др. Донные отложения арктических озер Западной Сибири как индикаторы изменений окружающей среды // Геохимия. 2020. Т. 65, № 4. С. 362–378.

[2] Ларина Н.С., Масленникова С.С., Ларин С.И. Геохимический мониторинг озер древних ложбин стока юго-западной части Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2011. №5. С. 30–38.

- [3] Maslennikova S., Larina N., Larin S. The effect of sediment grain size on heavy metal content // Lakes Reservoirs and Ponds. 2012. No 6. P. 43–54.
- [4] Toxicity of mercury: Molecular evidence / L. Yang, Y. Zhang, F. Wang [и др.]. // Chemosphere. 2020. 245 p. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31881386/>
- [5] Захарченко А.В., Пасько О.А., Тигеев А.А. Влияние природных факторов на содержание ртути в озерах севера Западной Сибири // Известия ТПУ. 2020. №5. С. 64–76.
- [6] Морозова Н.В., Ларина Н.С., Котова Т.П. и др. Особенности геохимического распределения валового содержания ртути в донных отложениях озер Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2015. № 1. С. 65–73.

Современный гидрохимический режим Ладожского озера как индикатор изменений в его экосистеме

Петрова Т.Н.^{1*}, Гусева М.А.², Крылова В.Ю.¹

¹ *Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

² *Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГОСНИОРХ») им. Л.С. Берга), г. Санкт-Петербург*

* e-mail: tatianik@mail.ru

С момента увеличения антропогенной нагрузки в 70-х годах прошлого века в Ладожском озере наблюдаются постоянные значительные изменения в режиме основных гидрохимических показателей. В данной работе используются многолетние данные о содержании в озере общего и неорганического фосфора, относительного содержания растворенного кислорода, величины водородного показателя и оценивается их динамика за последние 20 лет для косвенной оценки изменений экологического состояния водоема.

В 2003–2019 гг. средние за период открытой воды концентрации общего фосфора, составлявшие 11–14 мкг Р л⁻¹, были минимальными для всего периода наблюдений с 1976 г. и близкими к значениям 1959–1962 гг., когда озеро находилось на олиготрофной стадии развития. В 2020–2023 гг. эта величина увеличилась до 18–20 мкг Р л⁻¹ и превысила рассчитанную в предыдущих исследованиях [1] допустимую для озера концентрацию, равную 15 мкг Р л⁻¹.

До 2010 г. концентрация неорганического фосфора, в связи с потреблением биотой, снижалась до аналитического нуля в воде прибрежной зоны озера, а также в эпилимнионе глубоководных зон, при этом в гипolimнионе значения могли достигать 10–11 мкг Р л⁻¹. В 2010 г. впервые отмечено почти полное потребление неорганического фосфора как в эпилимнионе, так и в гипolimнионе озера. В 2016 г. количество минерального фосфора оказалось ниже предела обнаружения практически

во всех отобранных пробах воды во все сезоны как по вертикали, так и по акватории. В 2019–2023 гг., несмотря на увеличение концентрации общего фосфора, подобная ситуация начинает повторяться все чаще.

Начиная с 2016 г. в озере происходит постепенное снижение показателя рН и уменьшение его амплитуды. Летом, в период развития фитопланктона, его величина не превышала 7.5–7.8, только в 2020 г. в отдельных случаях доходила до 8.0. Ранее, в период активного фотосинтеза, значения рН достигали 8.5 и выше.

С 90-х годов прошлого века, даже при активном фотосинтезе, насыщение поверхностных слоев воды кислородом незначительно превышало 100 %. Обычно это превышение составляло не более 5–7 %, тогда как в 80-е годы летом достигало 130 %. После 2016 г. в отдельные годы величина относительного содержания кислорода в летний сезон в поверхностном слое воды остается ниже 100 % насыщения по всей акватории. В слое гипolimниона этот показатель может опускаться до 83–89 %, что говорит об увеличении деструкции органического вещества в придонных горизонтах.

Основываясь на полученных данных, можно предположить, что в последние годы происходит снижение активности фитопланктона, вызванное дефицитом неорганического фосфора, что приводит к снижению его продуктивности в трофогенном слое воды. В то же время в трофолитическом слое активно развиваются бактериопланктон и водные грибы, увеличивая величину деструкции.

Литература

[1] Петрова Н.А., Расплетина Г.Ф., Трегубова Т.М. и др. Основные этапы изменения озерной экосистемы под влиянием антропогенного эвтрофирования // Ладожское озеро – критерии состояния экосистемы / под ред. Н.А. Петровой, А.Ю. Тержевика. СПб.: Наука, 1992. С. 240–251.

Внутрисуточные колебания растворенного кислорода в водоемах Московского региона в 2020–2022 годах

Полухин С.И.* , Ерина О.Н., Соколов Д.И., Терешина М.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

* e-mail: kuvaszinsnow@gmail.com

Кислород – один из наиболее важных элементов в водной среде. Он контролирует течение большинства химических и биохимических реакций и является интегральным индикатором состояния экосистемы. Большинство современных исследований, посвященных кислородным условиям водоемов, сосредоточены на изучении режима растворенного кислорода в гипolimнионе в связи с формированием и развитием гипоксидных зон. Однако изучению кислородной динамики в эпилимнионе,

где образуется основная часть первичной продукции, как правило, не оказывается должного внимания ввиду формирования здесь благоприятных кислородных условий. Кроме того, несмотря на хорошую изученность режима растворенного кислорода в разрезе сезонных изменений, короткопериодные колебания концентраций растворенного кислорода до сих пор недостаточно изучены не только в России, но и в водоемах всего мира. При этом существующие исследования свидетельствуют о том, что трофический статус водоемов в значительной степени связан с диапазоном внутрисуточной изменчивости содержания растворенного кислорода.

Объектами исследования стали два водоема, расположенные в Московском регионе и имеющие различный трофический статус – эвтрофное Можайское водохранилище, играющее ключевую роль в системе водоснабжения г. Москвы, и мезотрофное озеро Глубокое, представляющее собой водоем с малой антропогенной нарушенностью.

В качестве исходных данных в работе использовались данные автоматических регистраторов содержания растворенного кислорода, установленные в поверхностном слое наиболее глубоководных частей водоемов. Логгеры на Можайском водохранилище были установлены в периоды с 20 мая по 13 ноября 2020 г., с 22 мая по 16 ноября 2021 г., со 2 мая по 4 ноября 2022 г, а на озере Глубоком – с 10 июля по 14 ноября 2020 г., с 14 июня по 14 ноября 2021 г. и с 3 мая по 5 ноября 2022 г.

Анализ полученных результатов показал, что максимальное среднесуточное содержание растворенного кислорода в Можайском водохранилище за рассматриваемый период в 2020 г. достигало 190 % насыщения и отмечалось в начале августа, а амплитуда внутрисуточных колебаний в среднем за вегетационный период составляла 3.6 мг/л. Максимальный внутрисуточный диапазон изменчивости в Можайском водохранилище отмечался чаще всего в конце сентября, а минимальный – по окончании вегетационного периода в октябре–ноябре.

Внутрисуточные колебания содержания растворенного кислорода в оз. Глубоком обнаружили более низкую изменчивость и в среднем составляли 0.6 мг/л, при этом максимальных значений в отдельные годы достигали как в июне, так и в октябре. Максимальное содержание кислорода в поверхностном слое в озере достигало 128 % насыщения.

В целом, для обоих водоемов сохраняются одинаковые периоды (весь летний сезон) с максимальными среднесуточными концентрациями растворенного кислорода. Также было выявлено совпадение периодов, характеризующихся минимальной амплитудой концентраций (октябрь–ноябрь), связанной с общим снижением содержания кислорода в воде при осеннем перемешивании и окончанием периода активной вегетации фитопланктона. При этом значительным различиям подвержены как размах суточных колебаний растворенного кислорода водоемов, так и периоды наиболее активного фотосинтеза.

Геохимические особенности отложений озер острова Кинг-Джордж, Антарктика

Слуковский З.И.^{1*}, Гузева А.В.²

¹ *Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Мурманск*

² *Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

*e-mail: z.slukovskiy@ksc.ru

Антарктика – регион Земли с уникальными климатическими, геологическими и экологическими условиями. Долгое время считалось, что это не испытывающий антропогенного воздействия регион, однако в результате недавних исследований это мнение подвергается сомнению. Антропогенное влияние здесь прослеживается, прежде всего, за счет развития сети полярных станций разных стран мира [1], а также вследствие атмосферного переноса поллютантов из других районов планеты [2].

Остров Кинг-Джордж – самый большой остров в архипелаге Южные Шетландские острова. На его территории расположены полярные станции девяти стран. Самая большая свободная ото льда зона на острове – полуостров Файлдс, на котором расположены четыре полярные станции из России (Беллинсгаузен), Китая (Великая стена), Чили (Фрей) и Уругвая (Артигас). Полуостров Файлдс имеет хорошо развитую гидрографическую сеть с многочисленными реками, ручьями и озерами.

В докладе представлены первые подробные исследования геохимии донных отложений двух озер острова Кинг-Джордж (Китеж и Глубокое). Отбор материала производился в 2022 г. в ходе 67-ой Российской Антарктической экспедиции. Были отобраны колонки донных отложений в наиболее глубоких местах обоих водоемов, в которых ранее были измерены глубины с использованием эхолота. После отбора колонки отложений разделялись на слои от 0.5 до 1 см. Содержание химических элементов определялось методом ICP-MS (Ход работ описан в [3]).

Исследования показали, что геохимия осадков преимущественно отражает геологические особенности полуострова Файлдс. По сравнению с верхней частью земной коры, изученные отложения обогащены Cu, Cd, V, Tl, Mn, Ti и P. Аналогичные закономерности выявлены в геохимии вулканических и осадочных пород района исследований [4]. Установлено, что тренды распределения редкоземельных элементов в целом повторяют их поведение в горных породах полуострова Файлдс. Однако общая концентрация редкоземельных элементов в донных отложениях озер Китеж и Глубокое выше, что может быть связано с наличием органического вещества, накапливающегося в осадках водоемов.

Существенного влияния деятельности полярных станций (например, из-за работы дизельных электростанций) на химический состав озерных отложений в ходе исследований не выявлено. При этом небольшое увеличение концентраций Pb и Sb в верхних слоях осадков позволяет предположить влияние дальнего атмосферного

переноса загрязняющих веществ. Ранее влияние этого явления на геохимические особенности было показано на примере донных отложений озер и заливов в районе острова Кинг-Джордж [5]. В этих работах геохимическим агентом атмосферного переноса выступает Hg [6].

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ № 22-27-00131. Авторы благодарят ААНИИ за обеспечение экспедиции в Антарктику в 2021–2022 гг.

Литература

- [1] Bueno C., Kandravicius N., Venturini N. et al. An Evaluation of Trace Metal Concentration in Terrestrial and Aquatic Environments near Artigas Antarctic Scientific Base (King George Island, Maritime Antarctica) // *Water Air and Soil Pollution*. 2018. Vol. 229. P. 398.
- [2] Flegal A.R., Maring H., Niemeyer S. Anthropogenic lead in Antarctic sea water // *Nature*. 1993. Vol. 365 (6443). P. 242–244.
- [3] Slukovskii Z.I., Guzeva A.V., Dauvalter V.A. Rare earth elements in surface lake sediments of Russian arctic: Natural and potential anthropogenic impact to their accumulation // *Applied Geochemistry*. 2022. Vol. 142. P. 105325.
- [4] Machado A., Lima E.F., Chemale F. et al. Geochemistry constraints of Mesozoic–Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica // *Journal of South American Earth Sciences*. 2005. Vol. 18(3-4). P. 407–425.
- [5] Ribeiro A.P., Figueira R.C.L., Martins C.C. et al. Arsenic and trace metal contents in sediment profiles from the Admiralty Bay, King George Island, Antarctica // *Marine Pollution Bulletin*. 2011. Vol. 62(1). P. 192–196.
- [6] Sun, L., Yin, X., Liu, X., Zhu, R., Xie, Z., & Wang, Y. (2006). A 2000-year record of mercury and ancient civilizations in seal hairs from King George Island, West Antarctica // *Science of The Total Environment*. Vol. 368(1). P. 236–247.

Влияние Можайского водохранилища на вещественный сток реки Москвы

Соколов Д.И.* , Ерина О.Н., Терёшина М.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

*e-mail: Dmitriy.Sokolov@mail.ru

В водохранилищах в условиях замедленного водообмена происходит трансформация не только водного, но и вещественного стока (ионного, твёрдого, органических и биогенных веществ и т.д.).

Можайское водохранилище – ключевой регулятор стока Москворецкой системы водоснабжения г. Москвы – оптимальный объект для изучения трансформации речного стока, поскольку питается естественным речным стоком благодаря расположению в

верховьях гидрографической сети. Водоохранилище отличается слабым водообменном (1.8 год^{-1}), летом и зимой стратифицировано, относится к мезотрофно-эвтрофным.

Материалами исследования послужили данные многолетнего комплексного гидроэкологического мониторинга Можайского водоохранилища и его водосбора, осуществляемого сотрудниками Красновидовской УНБ географического факультета МГУ с момента создания водоохранилища по сей день. Прежде всего – это результаты четырёх годичных циклов детальных балансовых наблюдений в годы различной водности (средневодные 1969, 1984, 2016 гг., многоводный 2012 г.).

За время существования водоохранилища ионный сток с водосбора возрос почти вдвое в связи со снижением доли весеннего стока и растущей ролью летних и зимних паводков, приносящих более минерализованные воды по сравнению с талыми водами. До конца XX в. до 40–50 % речного ионного стока приходилось на спад половодья, однако в XXI в. в отдельные годы преобладает ионный сток летне-осеннего периода. Водоохранилище слабо влияет на объём ионного стока р. Москвы, но существенно сглаживает и меняет внутригодовое его распределение: максимальный ионный сток в нижний бьеф может приходиться на любой сезон, причём доля фазы пропуска половодья может составлять 1–2 % и даже в многоводные годы редко превышает 30 %.

Значительнее всего в Можайском водоохранилище трансформируется сток речных наносов. Основной приток и сток взвесей происходят во время весеннего наполнения водоема, однако поступает в водоохранилище за этот период 75 % годового притока взвеси, а сбрасывается лишь 30 % годового стока. Как минимум 80 % аллохтонной взвеси аккумулируется в водоеме. Внутригодовые колебания мутности в нижнем бьефе Можайского гидроузла в 2–3 раза сглаживаются по сравнению с притоком.

Основное поступление органических веществ в водоохранилище происходит в период половодья (40–45 %) и паводков (25–40 %), в то время как основной их сток из водоема приходится на осенне-зимний период сработки (50–70 %). В результате внутриводоемных процессов сток органических веществ из водоохранилища снижается на 20–40 % по сравнению с их поступлением, его изменчивость также сглаживается.

Поступление биогенных веществ с водосбора в Можайское водоохранилище за последние 30 лет снизилось в разы из-за изменения структуры землепользования, однако возросла внутренняя биогенная нагрузка из-за увеличения продолжительности стратификации и, как следствие, аноксии. В половодье в водоохранилище аккумулируется практически весь минеральный фосфор (85–99 % годовой внешней нагрузки) благодаря значительному поступлению (50–60 % годового) и малому стоку (1–13 % годового), что обеспечивает питание водной биоты в течение вегетационного сезона.

Работа выполнена в рамках НИР кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (госзадания, номер ЦИТИС 121051400038-1).

Оценка пригодности озера Святого (Архангельская область) для выращивания форели по гидрохимическим и геохимическим показателям

Титова К.В.* , Жибарева Т.А., Кокрятская Н.М.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск

*e-mail: ksyu_sev@mail.ru

Министерство агропромышленного комплекса и торговли Архангельской области, начиная с 2017 г., с привлечением сотрудников Северного филиала ВНИРО им. Н.М. Книповича проводило исследования водоемов с целью их пригодности для товарного выращивания форели. Так, в Коношском районе подходящими для этой цели признаны озера Глубокое, Святое, Узловское, Островное и Малышкино. Самое большое из них – оз. Святое длиной 4.30 км, шириной 0.93 м, со средним условным водообменом 4.6 года. Приток вод в водоем осуществляется в южной и центральной его частях. Из озера берет свое начало р. Святица, соединяющая его с небольшим оз. Узловским. Средняя глубина водоема – 3.6 м, дно неровное – северная часть озера неглубокая (до 4 м). На обоих берегах оз. Узловского расположены жилые деревни без централизованного водоотведения, ранее функционировал частный маслозавод. В центральной части озера – глубоководный участок (до 16 м), в настоящее время домов рядом с ним на берегах мало. Озеро мезотрофное. Отмечено «цветение» воды в результате массового развития фитопланктона. Целью данной работы была оценка пригодности оз. Святого для разведения форели радужной по гидрохимическим показателям и состоянию донных отложений.

В качестве показателей были выбраны рН, цветность, содержание кислорода, биогенных веществ, главных ионов, сероводорода, железа, органического вещества. В донных отложениях озера были определены влажность, содержание органического углерода, азота, железа. Пробы отобраны в северной (ст. 1) и центральной (ст. 2) частях озера в марте 2017 и 2020 гг. Минерализация воды оз. Святого составляла в среднем 120 мг/л, жесткость не превышала 1.5 ммоль/л. По значению рН вода отнесена к категории слабокислая и нейтральная. Содержание сероводорода не превышало 8 мкг/л, растворенного железа – 0.5 мг/л. На обеих станциях отмечено полное отсутствие кислорода, начиная с глубин 2.5 м (ст. 1) и 13 м (ст. 2). Причиной истощения кислорода является активная деструкция органического вещества, остаточные концентрации которого составляли на станциях в среднем 36 и 31 мг/л соответственно. Цветность воды превышала 100 град. (141 и 115 град.). Содержание биогенных элементов увеличивалось к придонным слоям: фосфаты достигали 100 (ст. 1) и 30 мкг P/л (ст. 2), аммоний – 189 и 205 мкг N/л (при валовом содержании азота – 1000 и 800 мкг N/л). При этом, как известно, основными источниками загрязнения водоемов при выращивании радужной форели в садках являются продукты ее

метаболизма и остатки корма. Содержание поступившего органического вещества в поверхностном слое донных отложений оз. Святого составляло в расчете на углерод 10–12 % (ст. 1) и 7–9 % (ст. 2) (изменение в толще осадков составляло ± 2 %), на азот – 1.1–1.5 % и 0.9–1.2 %. Донные осадки представляли собой плотные коричневые илы с влажностью 83–85 % и 83–86 %. Общее содержание железа в осадках на станциях немного различалось, составляя в среднем 2.6 и 3.7 %. За исключением верхнего горизонта осадков, в толще отложений содержание восстановленной формы было равно или несколько превышало содержание окисленной формы этого элемента. Таким образом, в оз. Святом с высокими значениями цветности воды и содержания органического вещества, в придонных слоях создавались анаэробные условия по всей акватории водоема, наблюдалось значительное увеличение содержания фосфатов и аммония, доминирование восстановительных процессов в донных отложениях. Данные факторы не благоприятствуют разведению форели в исследованном водоеме.

Гидрохимическая характеристика разнотипных озер Волжско-Камского заповедника

**Унковская Е.Н.^{1*}, Косова М.В.^{2,3}, Шурмина Н.В.²,
Мухаметзянова Ф.М.², Игнатъев Ю.А.²**

¹ *ФГБУ «Волжско-Камский государственный заповедник», пос. Садовый,
Республика Татарстан*

² *Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, г. Казань*

³ *Казанский федеральный университет, г. Казань*

* e-mail: L-unka@mail.ru

В водосборном бассейне Раифского участка заповедника расположены разнотипные озера, связанные в единую гидрологическую систему малыми реками Сумка и Сер-Булак. В долинах рек расположены проточные глубоководные (до 20 м) озера карстово-суффозионного происхождения и около них – бессточные мелководные озера суффозионного происхождения, в «окнах» сплавин торфяных болот – бессточные глубоководные озера. Мониторинг гидрохимического состояния водоёмов заповедника осуществляется более 30 лет и их основные физико-химические показатели опубликованы. В настоящей статье обобщены результаты сезонных гидрохимических исследований за 2021–2023 гг. Пробы воды отбирались на сети контрольных станций в период открытой воды в поверхностном и придонном горизонтах. Аналитическое определение основных гидрохимических показателей проводилось методами атомно-абсорбционной спектроскопии и спектрофотометрии по аттестованным методикам.

Воды исследованных водоёмов, по классификации О.А. Алекина, относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Сумма главных ионов (минерализация)

изменялась от 97.3 до 299.3 мг/дм³, составляя максимальные значения в проточных водоемах р. Сумка. В сезонной и межгодовой динамике соотношение главных ионов изменялось в сторону увеличения содержания гидрокарбонатов. Водородный показатель изменялся в широком диапазоне в зависимости от типа озер, сезона года, горизонта и составлял 5.9–9.8 ед. рН. По величине общей жесткости вода большинства озер характеризовалась как «мягкая» (менее 4.0 моль/дм³), наибольшие значения относились к озерам в долине р. Сумка. Газовый режим характеризовался нормальным насыщением кислорода в поверхностных слоях всех озер (7.3–17.3 мг/дм³). Однако, в придонных слоях проточных озер, расположенных в долине р. Сер-Булак, и в «окнах» болот всегда отмечался дефицит O₂ (1.5–2.3 мг/дм³). На дне этих озер отмечалось накопление сероводорода и сульфидов, концентрации которых составляли 0.03–0.14 мг/дм³ (до 28.8 ПДКр.х.). Уровень биогенной нагрузки и количество органических веществ (по величине БПК₅ и ХПК) различались в каждом водоёме. Величина БПК₅ составляла 1.5–4.9 мг O₂/дм³ в проточных озёрах, 2.4–9.9 мг O₂/дм³ – в бессточных озёрах и 3.4–5.5 мг O₂/дм³ – в «окнах» сплави́н, ХПК составляло соответственно 12–56, 30–74 и 39–88 мг O/дм³. Среди биогенных элементов наибольшее влияние оказывали концентрации NH₄⁺, составляющие максимальные значения в придонных слоях озёр – 1.1–3.5 мг/дм³ (до 7 ПДКр.х.). Концентрации нитритов и нитратов часто соответствовали аналитическому нулю и не превышали по всей толще воды 0.23 мг NO₂⁻/дм³ и 1.32 мг NO₃⁻/дм³. Содержание фосфат-иона в поверхностных слоях всех озер составляло не более 0.05 мг/дм³, тогда как в придонных изменялось от 0.3 до 1.54 мг/дм³ при максимальных значениях в придонных слоях озёр, расположенных в долине р. Сер-Булак. Концентрации тяжелых металлов находились в пределах нормы, за исключением содержания меди, марганца и железа. Превышение ПДКр.х. составило в разные годы и сезоны по меди 2.3–5.4 раза, по марганцу – 1.9–34.1 раза, по железу – 2.7–70 раз, максимальные значения отмечались в придонных слоях оз. Линево. Оценка качества воды по индексу загрязненности изменялась от класса «умеренно-загрязненные воды» до «загрязненные».

Гидролого-гидрохимическая характеристика меромиктического озера Большого Соловецкого острова

Чупакова А.А.* , Прилуцкая Н.С., Воробьева Т.Я., Климов С.И.,
Морева О.Ю., Прасолов С.Д.

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

*e-mail: anna.a.ershova@gmail.com

Меромиктические озера являются особенными объектами исследования, отличительной чертой которых является наличие трех не перемешивающихся между собой водных масс. Наличие в водной толще резкого градиента Red/Ox условий, химического состава, отсутствие контакта нижних слоев воды с атмосферой и т.д. делают их уникальными объектами исследования для гидрохимии, микробиологии, палеолимнологии и других наук. В мире меромиктические озера достаточно редки, современные списки, включают не более 200 озер (преимущественно в Северной Америке и Европе, как наиболее изученные). На территории России на 2020 год выявлено 53 меромиктических озера [1], что вероятно, связано с недостаточной исследованностью. Проведенные авторами ранее исследования позволили сделать вывод, что на острове Большом Соловецком вероятно нахождение относительно большого количества озер с меромиксией биогенного типа, обусловленной недостаточным перемешиванием водных масс за счет морфометрии озер, рельефа и леса, укрывающими их от действия ветров.

В ходе экспедиционных исследований, проведенных в различные сезоны (лето, зима, осень) 2022–2023 гг. на острове Большой Соловецкий, авторами было изучено озеро Светленькое, которое по рекогносцировочным расчетным данным (соотношение площади и относительной глубины) было отнесено к меромиктическому типу.

Озеро Светленькое (65.0915° с.ш., 35.6795° в.д.) относится к малым глубоководным слабо открытым водоемам и имеет площадь зеркала $16\,160\text{ м}^2$, длину 210 м, максимальную ширину 120 м, максимальную глубину 22.7 м. В водоеме наблюдается хемоклин – зона резкого изменения гидрохимических показателей.

Отличительная особенность данного водоема – ультрапресные воды. Удельная электропроводность в миксолимнионе составляет 40–50 мкСм/см, а в монимолимнионе – 70–80 мкСм/см. Максимальные вертикальные градиенты электропроводности отмечаются в слое 14–16 м и составляют 19 мкСм/см и 18 мкСм/см соответственно в июле и марте. Соответствующие средние градиенты удельной электропроводности в зоне хемоклина составили 11.3 мкСм/см и 10.2 мкСм/см.

Кроме того, выполнен комплекс основных гидролого-гидрохимических исследований, включающий изучение морфометрической структуры, термического режима, определение ионного состава, рН, электропроводности, прозрачности, цветности, содержания основных биогенных элементов (азота, фосфора, кремния),

растворенного органического и неорганического углерода, железа, метана, сероводорода, сульфатов.

Работа подготовлена при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-14-20045 и ФНИР FUUW-2022-0065 (№ гос. регистрации 122011800149-3).

Литература

[1] Краснова Е.Д. Экология меромиктических озер России. 2. Континентальные водоемы // Водные ресурсы. 2021. Т. 48, № 4. С. 451–460.

СЕКЦИЯ 4 – ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изменение палеоэкологии озер в степях Центральной Азии в голоцене

Баженова О.И.^{*}, Черкашина А.А.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

^{*}e-mail: bazhenova_o49@mail.ru

В настоящее время область внутреннего стока Центральной Азии, включающая сопредельные территории России, Китая и Монголии, представлена системой бессточных озерных бассейнов различного размера, насчитывающих порядка 5000 озер. На российской части территории расположено более 350 больших и малых соленых озер. Для изучения палеолимнологии озер нами в качестве опорного выбран бассейн озера Хара-Нур, расположенного на границе с Монголией. В этом обширном равнинном районе исследуемые озерные бассейны образуют субмеридиональный профиль, вытянутый с северо-запада на юго-восток. На нем основными объектами анализа помимо оз. Хара-Нур, расположенного в средней части профиля, взяты замыкающие его на северо-западе оз. Зун-Соктуй и на юго-востоке оз. Буйр в Монголии. Оба озера большую часть голоцена были пресноводными, их отложения содержат богатые диатомовые комплексы [1, 2], в отличие от сильно засоленных отложений оз. Хара-Нур. В котловине озера Зун-Соктуй исследован разрез на литорали озера [1]. В котловинах оз. Буйр и Хух-Нур изучены донные осадки [2].

Выполненный совместный анализ отложений озерных котловин подтвердил синхронный ход изменения климата и геоморфологических процессов у северной окраины Центральной Азии в голоцене. В функционировании бассейнов выделяется три макроцикла, охватывающих ранний, средний и поздний голоцен, каждый из которых включает трансгрессивную и регрессивную фазы, которые контролируются климатическими колебаниями. Следы первого цикла представлены достаточно мощным гумусовым горизонтом погребенной почвы в разрезе 1 котловины оз. Хара-Нур. Ее формирование относится к середине бореального периода и датируется 9210 ± 190 кал. л. н. В период сильного похолодания на рубеже бореального и атлантического периодов в условиях кратковременной регрессии озера формировались криогенные клинья.

По своей продолжительности выделяются трансгрессивная атлантическая и суббореальная регрессивная фазы второго цикла. В атлантический период голоцена были сформированы две мощные региональные почвы черноземного типа около 8 и

6.4 тыс. кал. л. н. В бассейне оз. Зун-Торей фиксируются быстрые события интенсивного флювиального сноса, которые иногда приобретали характер селевых потоков. В котловине оз. Хара-Нур процесс сокращения водоема в суббореальную регрессивную фазу шел очень сложно и условия осадконакопления менялись практически каждые 500 лет. В эту фазу отмечались криогенные процессы. В последний субатлантический цикл резко активизировались эоловые процессы, которые в отдельные отрезки времени приобретали катастрофический характер.

В целом постоянные пульсации уровней и площадей озер в степях Центральной Азии в голоцене сопровождались сменой механизмов, объемов и направлений перемещения вещества, способствовавших интенсивному выравниванию рельефа территории.

Литература

[1] Базарова В.Б., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Орлова Л.А. Особенности озерного осадконакопления в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья в голоцене (на примере отложений оз. Зун-Соктуй) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 3. С. 426–438.

[2] Севастьянов Д.В., Дорофеев Н.И., Лийва А.А. Палеоэкология озер в голоцене // Лимнология и палеолимнология Монголии. СПб.: Наука, 1994. С. 248–262.

Особенности реконструкции состава растительности по данным палинологических исследований осадков малых озер в лесной и тундровой зонах

Борисова О.К.

Институт географии РАН, г. Москва

e-mail: olgakborisova@gmail.com

Донные отложения небольших и сравнительно глубоких озер, занимающих котловины, сложенные слабо размываемыми терригенными породами, наиболее подходят для подробных палинологических исследований и последующих реконструкций изменений растительности и климата на их основе. Непрерывность и устойчивость процесса аккумуляции в таких водоемах и потенциальная пригодность отложений, с заключенными в них органическими остатками, для радиоуглеродного датирования обеспечивают возможность построения шкалы времени для палеоэкологических реконструкций. Сохранность пыльцы и других микрофоссилий растительного и животного происхождения (непыльцевых палиноморф – НПП) в таких отложениях обычно достаточно высока. Присутствие пыльцы водных и прибрежно-водных растений, помимо пыльцы и спор наземных растений, поступающей с

водосбора озера и с более широкой окружающей территории, позволяет существенно уточнить интерпретацию палинологических данных.

В качестве примера рассмотрим наиболее важные моменты реконструкций по данным об изменениях состава спектров, концентраций и удельных скоростей аккумуляции пыльцы основных древесных пород и состава НПП (фрагментов тканей водных и наземных растений, устьиц хвойных пород) в отложениях двух малых озер: оз. Долгое, расположенного в подзоне широколиственно-хвойных лесов в центральной части европейской территории России, и оз. TL-1-1, которое находится на юго-западе п-ова Таймыр, в подзоне южной (кустарниковой) тундры в 70 км к северу от современной границы елово-лиственничных лесов.

В разрезе оз. Долгое в «нижнем максимуме ели», соответствующем интерстадиалу аллерёд, доля пыльцы ели достигает 30–40 % от суммы пыльцы деревьев, что близко к ее содержанию в «верхнем максимуме ели», 2–2.8 тыс. л. н. (здесь и ниже приведен калиброванный возраст). При этом концентрация пыльцы *Picea* в слоях аллерёда на порядок ниже, чем в раннем субатлантике. Это различие показывает, что климатические условия в позднем голоцене были значительно более благоприятными для развития еловых лесов, чем в аллерёде. Тем не менее, в аллерёде в слоях с наиболее высокой концентрацией пыльцы ели также найдены ее устьица и, следовательно, ель в это время уже росла по берегам озера. В слое осадков, относящемся к бёллингу, найдены единичные пыльцевые зерна прибрежно-водных растений (*Sparganium* sp., *Typha latifolia*). Их присутствие говорит о том, что в бёллинге средняя температура июля составляла здесь не менее 12°C. Пыльца кувшинки и кубышки встречается в разрезе только начиная с атлантического времени, однако о появлении нимфейных в озере уже в начале бореала свидетельствуют находки склерейд – прочных клеток звездчатой формы, содержащихся в цветоножках и черешках листьев кубышек и кувшинок.

Изменения удельной скорости аккумуляции (УСА) пыльцы древовидной березы в разрезе оз. TL-1-1 показывают, что она росла вокруг озера до 5.3 тыс. л. н., но в более поздних отложениях ее пыльца является заносной. Низкие УСА пыльцы сосны говорят о том, что в течение всего времени, охваченного разрезом, она не росла вблизи озера. В нижней части разреза помимо пыльцы обнаружены устьица ели, что подтверждает ее локальное присутствие. Концентрации устьиц лиственницы в том же слое превышают концентрации ее пыльцы. Следовательно, и ель, и лиственница росли на ныне безлесном водосборе озера до 5.3 тыс. л. н. Ель выпала из фитоценозов на этой территории около 5 тыс. л. н., а лиственница – около 4.7 тыс. л. н. Находки пыльцы ели в вышележащих слоях, где УСА *Picea* меньше 100 зерен на 1 см³ в год, объясняются ее ветровым заносом.

Позднеголоценовые этапы развития озер на острове Валаам по данным пыльцы макрофитов

Газизова Т.Ю.* , Сапелко Т.В.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

*e-mail: tssml@bk.ru

В рамках комплексных палеолимнологических исследований на о. Валаам были изучены колонки донных отложений и поверхностные пробы озер Витальевское и Антониевское. Валаам находится в северной части Ладожского озера, имеет площадь 28 км² и относится к подзоне средней тайги. Озера Витальевское и Антониевское расположены на разных абсолютных высотных отметках – 10 и 17 м, соответственно. В прошлом они были частью Ладожского озера, но изолировались в ходе его регрессии [1]. В настоящее время это небольшие лесные водоемы с интенсивными процессами зарастания и заболачивания. Витальевское имеет площадь 0.005 км² и глубину до 1.9 м, Антониевское – площадь 0.028 км² и глубину до 3.5 м.

Колонка озерных отложений Витальевского, мощностью 2 м, сложена органическими и алевритовыми гиттиями, опесчаненным алевритом и крупнозернистым песком. Колонка Антониевского, мощностью около 1 м, представлена органической и опесчаненной гиттиями и серой глиной. Донные отложения и поверхностные пробы изучались методом спорово-пыльцевого анализа, отдельное внимание уделялось динамике пыльцы макрофитов. По результатам изучения были реконструированы этапы развития озер в прошлом.

По данным корреляции с имеющимися радиоуглеродными датировками [2] осадконакопление в озерах началось конце атлантического – начале суббореального периода голоцена, когда они являлись частью залива Ладожского озера. На этом этапе немногочисленные макрофиты залива были представлены *Potamogeton* sp. и *Sparganium* sp. На втором этапе в конце суббореала, в результате регрессии Ладоги, произошла изоляция озер. Заселение Антониевского началось почти сразу – появились *Nuphar lutea*, *Polygonum amphibium* и *Myriophyllum* sp. Для Витальевского наблюдалась иная динамика – в начале процесса изоляции пыльца макрофитов в отложениях временно исчезла. Позднее озеро начало постепенно заселяться макрофитами: пионерным видом стала *Myriophyllum* sp. Третий этап связан с развитием изолированных озер в субатлантике. В Витальевском появились *Hydrocharis* sp., *Potamogeton* sp., *Nuphar lutea*, *Nymphaea candida* и *Lemna* sp. Антониевское также заселилось *Hydrocharis* sp., *Potamogeton* sp., *Nymphaea candida*, *Myriophyllum* sp., *Lemna* sp. и *Typha latifolia*. В настоящее время изученные озера находятся на разных стадиях зарастания с различным видовым составом макрофитов. В Витальевском озере доминируют *Hydrocharis* sp. и *Lemna* sp., в Антониевском – *Potamogeton* sp., *Nuphar lutea*, *Myriophyllum* sp.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН по теме FFZF-2024-0001 «Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений»

Литература

[1] Сапелко Т.В., Терехов А.В., Амантов А.В. Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера // Региональная геология и металлогения. 2018. № 75. С. 23–34.

[2] Saarnisto M. Late Holocene land uplift/neotectonics on the island of Valamo (Valaam), Lake Ladoga, NW Russia // Quaternary International. 2012. Vol. 260. P. 143–152.

История озера Неро (Ярославская область) за последние 15 тысяч лет

**Константинов Е.А.^{1*}, Карпухина Н.В.¹, Самусь А.В.¹, Бричева С.С.^{1,2},
Рудинская А.И.¹, Лазукова Л.И.¹, Захаров А.Л.¹, Украинцев В.Ю.¹**

¹ *Институт географии РАН, г. Москва*

² *Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

*e-mail: ekonst@igras.ru

Палеогидрологическая обстановка в Ростовской низине (Ярославская область) является предметом многолетних дискуссий. Представления позднеледниковой и голоценовой истории колебаний уровня озера Неро существенно расходятся у разных авторов. Авторским коллективом исследовано строение донных отложений и рельефа дна в наиболее глубокой северо-восточной части акватории озера. Проведена батиметрическая съемка. Выполнено бурение с отбором ненарушенных колонок, георадарное профилирование, радиоуглеродное датирование и комплекс литологических анализов.

В результате исследований установлена глубокая регрессия уровня озера Неро в позднеледниковье и начале голоцена. Стратиграфические несогласия в осадках фиксируют этап низкого положения уровня (ниже 87 м над ур. м.) в интервале от 14.7 до 10.0 тысяч лет назад. Озеро сокращалось в размерах в несколько раз, водоем сохранялся только в осевой наиболее глубокой части котловины.

Крупная трансгрессивная фаза зафиксирована в начале и середине атлантического периода голоцена – с 9.0 до 6.5 тысяч лет назад. Уровень озера достигал отметок 91–94 м над ур. м., что близко к современным значениям. Исследование отложений на побережье и островах позволяют заключить, что выше отметки 94.2 м средний многолетний уровень озера в голоцене не поднимался. В интервале 6.5–2.4 тысяч лет назад установлены слабые регрессивные фазы в динамике среднего

многолетнего уровня. Уровень озера был ниже современного примерно на 1–3 м. Начиная с 2.4 тысяч лет назад уровень озера Неро медленно повышался, достигнув современных отметок примерно 300–500 лет назад.

Основным фактором колебания уровня озера Неро в голоцене была трансформация русловых систем, вызывавшая изменения высоты порога стока озера. Эта трансформация связана как с климатически-обусловленными изменениями флювиальной активности, так и внутренним саморазвитием речных русел.

Палеоэкологическое изучение донных осадков малых озер Имандровской депрессии по результатам диатомового анализа

Косова А.Л. *, Денисов Д.Б.

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, г. Апатиты

*e-mail: annkosova1976@yandex.ru

Озеро Имандра – самое большое озеро на Кольском полуострове. В пределах Имандровской депрессии были изучены диатомовые комплексы в донных осадках трех озер, приуроченных к побережьям Йокостровской и Бабинской Имандры (таблица).

Таблица – Характеристики озер

Озеро	Координаты, с.ш.; в.д.	Высота над уровнем моря, м	Глубина, м	Площадь зеркала, км ²	Мощность керна, м
Тикозеро	67°56'20.6"; 32°47'02.3"	128	1.2	3.85	0.8
озеро 1	67°32.40'; 31°48.70'	148.8	3.0	0.05	1.2
озеро 2	67°31.98'; 31°45.18'	133.4	3.2	0.385	2.1

По данным диатомового анализа, с учетом литологических и хронометрических (радиоуглеродных) данных, установлены основные этапы формирования донных отложений в котловинах изученных озер на протяжении послеледникового времени. На начальном этапе развития озер 2 и Тикозеро осадконакопление происходило в суровых условиях. Диатомеи в осадках бореального времени обильны и таксономически разнообразны. Диатомовые комплексы атлантического периода представлены во всех изученных разрезах, но имеют свои особенности. Атлантический период – время климатического оптимума. В малых озерах накапливается гиттия, идут процессы заболачивания территорий. Озеро 1, возможно, было сформировано в результате исчезновения массива мертвого льда. Улучшение климата способствовало тому, что по истечении определенного промежутка времени на увлажненной поверхности осадков,

под которыми был погребен лед, сформировалось болото и образовался торф. Диатомовая флора из торфа представлена типичными ацидофильными представителями болот и дистрофных озер: *Brachysira follis*, *Frustulia rhomboides* и эпифитами рода *Eunotia*, *Tabellaria flocculosa*. В разрезах озер 2 и Тикозеро доминантами являются виды рода *Brachysira* (*B. zellensis*, *B. vitrea*). Диатомеи в осадках максимально обильны. Наличие в осадочной последовательности озера 2 брекчиевого горизонта свидетельствует об одномоментном катастрофическом изменении условий осадконакопления в середине атлантического периода. Состав диатомовой флоры не отличается от состава в нижележащих ненарушенных слоях, что указывает на однородность условий окружающей среды. Резкое снижение обилия диатомей связано с поступлением большого количества терригенного материала с водосборной площади и/или с бортов котловины. Изменения в структуре диатомовых комплексов оз. Тикозеро и озера 1 указывают на снижение уровня водоемов, что стало возможным в результате уменьшения влажности. В оз. Тикозеро произошло полное пересыхание. Пересыхание оз. Тикозеро имело быстрый характер, т.к. нет следов заболачивания. Резкое снижение содержания органического вещества, концентрации створок также подтверждают данное предположение. По данным радиоуглеродного датирования отмечается прерывание осадконакопления, которое возобновляется в начале суббореального периода.

Палеолимнологические исследования в Институте озероведения РАН последнего десятилетия – литостратиграфический аспект

Кузнецов Д.Д.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: dd_kuznetsov@mail.ru

Изучение литостратиграфии донных отложений озер – первый этап любого палеолимнологического исследования. Содержание органического вещества является одной из важнейших характеристик озерных отложений и, наряду с размерностью частиц, лежит в основе большинства классификаций типа осадка. Наши работы последних лет позволили выявить некоторые особенности органонакопления в озерах Севера и Северо-запада Европейской России, имеющие значение для палеогеографических исследований голоценовой динамики береговой линии крупных бассейнов и палеоэкологических реконструкций, среди которых:

1. Малые озера Приладожья развивались в тесной связи с трансгрессивно-регрессивной деятельностью Ладожского озера и пра-Ладожских бассейнов. Выявлено принципиальное различие в строении осадков малых озер Приладожья в зависимости от их высотного и пространственного положения. В отложениях большинства озер (за

исключением южной части) четко фиксируется смена условий осадконакопления, вызванная изоляцией этих озер от крупных бассейнов [1].

2. Выделены этапы голоценового органонакопления в Ладожском озере по результатам изучения более 20 колонок донных отложений. В большинстве разрезов реконструируется два периода относительно высокого накопления органического вещества – в среднем голоцене и в период, близкий к современности. Изменения в содержании органического вещества часто стратиграфически не выражены, что позволяет использовать эти данные для корреляции разрезов из разных частей озерной котловины [2].

3. Голоценовый палеосток из Ладожского озера является предметом изучения уже более 100 лет. Изучение отложений серии разновысотных озер, расположенных на трассе северной протоки бывшего Гейниокского пролива, позволило датировать прекращение соединения между Ладожским озером и Балтийским морем в северной части Карельского перешейка. Выявлено, что несмотря на прекращение стока 3000–3500 кал. л. н., окончательное установление озерных обстановок осадконакопления в котловинах озер вдоль палеопролива на современных отметках 14–16 м над ур. м., произошло позднее [3].

4. Ведутся исследования, реконструирующие перемещение береговой линии Белого моря в голоцене на различных участках побережья. Установлено, что в озерах Соловецкого архипелага, расположенных на отметках 22–35 м над ур. м., озерное осадконакопление происходило, начиная с 10500–11000 кал. л. н. [4].

Литература

[1] Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. Стратиграфия донных отложений озер Карельского перешейка. М.: ГЕОС, 2019. 120 с.

[2] Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А. Голоценовое накопление органического вещества в донных отложениях Ладожского озера // Геоморфология. 2021. Т. 52, № 2. С. 63–71.

[3] Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Субетто Д.А. и др. Хроно- и литостратиграфия озерных отложений острова Анзер (Соловецкие острова) в контексте послеледниковой истории Белого моря // Известия РАН. Сер. Географическая. 2022. Т. 86, № 6. С. 70–88.

[4] Кузнецов Д.Д., Субетто Д.А., Лудикова А.В. Соединение Ладожского озера с Балтийским морем в позднем голоцене – новые палеолимнологические данные // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2022. Т. 506, № 1. С. 111–116.

Осадконакопление в озере Ханка как реакция на изменение окружающей среды за последние 160 лет

Кузьменкова Н.В.^{1,2*}, Рожкова А.К.¹, Петров В.Г.¹

¹ Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

В 2021 и 2022 гг. проведен отбор проб почв и донных отложений на водосборе и в котловине озера Ханка. В результате полевых работ было отобрано 10 почвенных кернов, 4 керна донных отложений озера и 1 – из реки Спасовка. Пробы донных осадков отбирались с глубины 3–4 м с помощью модифицированного пробоотборника Nesie. Исследования осадконакопления проводились с использованием естественных и искусственных радионуклидов. Анализ гамма-излучающих (^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K) радионуклидов проводился на гамма-спектрометре ORTEC GEM-C5060P4-B, оснащенном полупроводниковым детектором из высокочистого германия (HPGe) с окном Be и относительной эффективностью 20 %. Определение ^{237}Np , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am проводилось с помощью тандемного квадрупольного ИСП-МС/МС (Agilent 8800) в Университете Ланьчжоу (Китай).

Зарегистрированное среднее содержание ^{137}Cs для всех точек в 30-сантиметровой толще почвы колебалось от 5.6 ± 2.2 до 11.1 ± 3.7 Бк/кг. Общая плотность загрязнения оставалась низкой на всех изученных профилях и не превышала 150 Бк/м². Суммарный запас не превышает 1800 ± 200 Бк/м², что несколько ниже, чем в широтном поясе $40\text{--}50^\circ\text{N}$ (2618 ± 353 Бк/м²). Это показывает, что никакие радиационные катастрофы не оказали влияния на территорию исследования и подтверждается отношением $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ равным $0.17\text{--}0.21$ для всех исследованных проб (отношение изотопов плутония в результате глобальных ядерных испытаний – 0.18). Таким образом установлено, что пик с максимальной концентрацией радионуклидов в донных осадках соответствует 1963 г., что позволило точно рассчитать скорость осадконакопления для разных частей озера в индустриальную эпоху. Для донных осадков установлена неравномерная скорость осадконакопления в разных частях озера за время выпадения искусственных радионуклидов. В целом скорость седиментации невысока ($0.02\text{--}0.05$ см/год), но в устье реки Раздольной она увеличивается в три раза (0.17 см/год). В тоже время, со стороны Китая, где расположено озеро Малая Ханка, отделенное от основного дамбой, скорость осадконакопления достигает $0.42\text{--}0.63$ см/год. Очевидно, гораздо более сильное антропогенное воздействие на водосбор озера со стороны Китая, которое впервые оценено количественно. Обнаружен пик ^{241}Am в слоях выше точки глобальных выпадений, что свидетельствуют о дополнительном источнике этого радионуклида в озере Ханка и требует дальнейших исследований. Скорость седиментации озера ниже пика глобальных выпадений была равномерной, что доказано с помощью распределения неравновестного свинца ($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$).

Значимый перенос естественных ^{232}Th и ^{238}U со стоком речных наносов не обнаружен. Это указывает на то, что миграции естественных радионуклидов со стоком наносов не происходит. Обнаружено интенсивное вымывание ^{40}K с водосбора озера Ханка. Этот радионуклид входит в состав калийных удобрений, на что указывает

меньшее содержание этого радионуклида в речных донных осадках (от 0.16 ± 0.05 до 1.8 ± 0.04 кБк/м²) и в почвах (от 0.1 ± 0.03 до 10.9 ± 0.4 кБк/м²) приближенных к реке территорий, по сравнению с донными осадками озера (от 10.4 ± 0.4 до 17.7 ± 0.70 кБк/м² в верхних 10 см керна и до 19.6 ± 0.80 кБк/м² на глубине 20 см). Установлено также активное использование в прошлом сульфатных удобрений на сельскохозяйственных территориях вокруг озера.

60 лет изучения диатомовых водорослей в донных отложениях Ладожского озера

Лудикова А.В.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: ellerbeckia@yandex.ru

Изучение диатомовых водорослей в донных осадках Ладожского озера было начато в конце 50-х гг. XX в. в рамках работ Комплексной Ладожской экспедиции Натальей Наумовной Давыдовой (1931–2014), впоследствии выдающимся диатомологом и палеолимнологом, доктором биологических наук. В работах Н.Н. Давыдовой 1959–2004 гг. рассмотрены систематический состав, экологическая и фитогеографическая характеристика диатомовых водорослей в поверхностном слое и в колонках донных отложений. Установлено, что 1) состав танатоценозов диатомовых водорослей в поверхностных осадках в целом соответствует составу планктонных сообществ; 2) после дегляциации в Ладожской котловине непрерывно существовали пресноводные условия; 3) существует связь между изменениями видового состава диатомовых комплексов и количественного содержания створок диатомей и изменениями природно-климатических обстановок. Кроме того, Н.Н. Давыдовой были заложены основы геоэкологического мониторинга с использованием диатомового анализа донных отложений, что позволило проследить изменения состояния экосистемы Ладожского озера в ходе антропогенного эвтрофирования.

В настоящее время изучение диатомовых водорослей в Ладожских осадках проводится по следующим основным направлениям:

1) Получение новых данных и уточнение существующих представлений об основных этапах эволюции Ладожского озера и выявление биоиндикационных признаков изменений состояния Ладожской экосистемы в геологическом прошлом. Повышенное внимание уделяется свидетельствам изменений термического режима водоема, его глубины и конфигурации. Особый интерес представляет реконструкция условий среды в Ладожской котловине в эпоху раннеголоценовой пресноводной анциловой трансгрессии на Балтике – малоизученного этапа в истории Ладожского озера, а также выявление сигналов завершения среднеголоценовой Ладожской

трансгрессии по данным диатомового анализа. Проводится изучение другой группы кремнистых микрофоссилий – цист золотистых водорослей. Показана перспективность их использования совместно с результатами диатомового анализа для биостратиграфического расчленения и корреляции разрезов донных отложений голоцена из разных частей Ладожской котловины.

2) Продолжение ряда мониторинговых наблюдений за изменениями состава диатомовых комплексов в поверхностных осадках с целью изучения состояния Ладожского озера на современном этапе. Получены данные, свидетельствующие о том, что Ладожская экосистема не вернулась в состояние, предшествовавшее этапу эвтрофирования. Предполагается, что на процесс деэвтрофирования и восстановления состояния Ладожского озера накладываются климатические изменения последних десятилетий, приводящие к смещению временных рамок биологических сезонов в озере.

3) Применение модифицированного метода изоляционных бассейнов для реконструкции пространственно-временных рамок трансгрессивных стадий Ладожского озера. Выделена группа индикаторных видов диатомей, позволяющая выявлять свидетельства Ладожской трансгрессии в отложениях малых озер Приладожья, ранее затоплявшихся Ладожскими водами. Использование видов-индикаторов Анциловой и Ладожской трансгрессий дает возможность реконструировать изменения уровня Ладожского озера в голоцене.

Эволюция средне- позднеплейстоценовых фаун мелких млекопитающих по материалам озер юго-запада Русской равнины

Маркова А.К.

Институт географии РАН, г. Москва

e-mail: amarkova@list.ru

В результате полевых исследований отложений и фаун мелких млекопитающих юго-запада Русской равнины была выявлена серия местонахождений микротериофауны, приуроченная к разновозрастным плейстоценовым лиманным и аллювиальным отложениям озер (лиманов) нижнего течения Дуная. Здесь, в рукавах древнего эстуария Дуная, сформировались своеобразные водоемы – Кагул, Ялпуг, Китай и другие. После отчленения этой территории от моря эти водоемы превратились в изолированные озера, заполненные слабосоленовой водой [1]. Из лиманных и аллювиальных отложений этих озер были получены остатки плейстоценовых мелких млекопитающих разного возраста. Большинство захоронений остатков мелких млекопитающих содержали также остатки пресноводных и солоноватоводных моллюсков, которые были изучены К.Д. Михайлеску и А.Л. Чепалыгой.

Наиболее раннее местонахождение мелких млекопитающих было обнаружено в береговом обрыве VI террасы Дуная к оз. Кахул у с. Нагорное (расчистки 1, 9, 10), в котором ядро фаун составляют корнезубые полевки *Mimomys savini* и *M. pusillus*, степные пеструшки *Prolagurus pannonicus*, узкочерепные полевки *Lasiopodomys (Stenocranius) hintoni*. В отложениях обнаружены солоноватоводные полевки чаудинской трансгрессии [2]. Фауна по комплексу данных может быть сопоставлена с началом палеомагнитной эпохи Брюнес, с началом среднего плейстоцена (МИС 19), с тираспольским фаунистическим комплексом. Более поздняя фауна была обнаружена в местонахождении Суворово (восточный берег оз. Катлабух). Остатки мелких млекопитающих были обнаружены в лиманных трехслойных отложениях. В нижнем слое присутствуют *Mimomys savini*, *Prolagurus posterius*, *Lagurus transiens*, *Lasiopodomys (S.) gregaloides* и др. В двух верхних слоях отмечено появление *L. (S.) gregalis*. Формирование верхних слоев было сопоставлено с мучкапским межледниковьем (МИС 15), с поздне-тираспольскими фаунами. Богатая фауна мелких млекопитающих была обнаружена в отложениях IV террасы Дуная в местонахождении Озерное (Бабель) в флювиальных отложениях, обнажающихся на восточном берегу оз. Ялпуг. В ней преобладают остатки древней водяной полевки *Arvicola cantianus*, а также *Lagurus transiens* – *L. lagurus*, *L. (S.) gregalis* и др. Фауна характерна для начала второй половины среднего плейстоцена, для лихвинского межледниковья (МИС 11). В лиманных отложениях Озерного найдены древнеэвксинские солоноватоводные моллюски [3].

Более молодая фауна была обнаружена в отложениях III террасы Дуная в местонахождении Плавни (западный берег оз. Ялпуг). Фауна Плавней содержит остатки водяных полевок *Arvicola chosaricus*, характерных для конца среднего плейстоцена – начала позднего плейстоцена. Степные пеструшки представлены более продвинутой формой *Lagurus Lagurus*. Обнаруженные моллюски относятся к узунларской трансгрессии (МИС 7). Самая молодая фауна мелких млекопитающих обнаружена в лиманных отложениях II террасы Дуная (оз. Ялпуг) около с. Новонекрасовка. Фауна содержит водяную полевку современного облика *Arvicola terrestris* и другие виды. Обнаруженные в лиманных отложениях, солоноватоводные моллюски существовали в карангатскую трансгрессию Черного моря (МИС 5e).

Таким образом, находки мелких млекопитающих позволили охарактеризовать эволюцию микротериофаун на протяжении среднего – первой половины позднего плейстоцена (772.9–15 тыс. л. н.). Совместное залегание остатков мелких млекопитающих и солоноватоводных моллюсков позволили провести прямые корреляции событий на континенте и в бассейне Черного моря [2, 4].

Литература

[1] Михайлеску К.Д. Происхождение лиманов дельты Дуная. Кишинев: Штиинца, 1990. 161 с.

[2] Маркова А.К., Михайлеску К.Д. Корреляция морских и континентальных отложений плейстоцена северо-западного Причерноморья // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1994. Т. 2, № 4. С. 87–94.

[3] Чепалыга А.Л., Маркова А.К., Михайлеску К.Д. Стратиграфия и фауна стратотипа узунларского горизонта черноморского плейстоцена // Доклады АН СССР. 1986. Т. 290, № 2. С. 433–437.

[4] Markova A.K. Pleistocene mammal faunas of Eastern Europe // Quaternary International. 2007. Vol. 160, Is. 1, P. 100–111.

Реконструкция ландшафтно-климатической и палеопожарной динамики Приишимья в Голоцене по материалам разреза озера Мергень

Нестерова М.И.^{1,2*}, Трубицына Э.Д.^{1}, Афонин А.С.^{1***}, Рябогина Н.Е.^{1,3****}**

¹ Тюменский научный центр, г. Тюмень

² Тюменский Государственный Университет, Институт наук о Земле, г. Тюмень

³ Гётеборгский университет, г. Гётеборг, Швеция

* e-mail: nesterova.masha.2000@mail.ru

** e-mail: el.yuzh@gmail.com

*** e-mail: hawk_lex@list.ru

**** e-mail: nataly.ryabogina@gmail.com

Изучение климатических изменений Приишимья (юго-западная часть Западной Сибири) началось с палиностратиграфического исследования Станичного, Калининского и Гладиловского Рямов [1–3], а также отложений археологических памятников [4]. Однако временной охват изученных природных архивов едва достигал 5 тыс. л.н., что не позволяло анализировать начало расселения людей на данной территории. При изучении донных отложений озера Мергень впервые были получены спорово-пыльцевые данные и концентрация макрочастиц угля охватывающие около 13 тыс. лет. Это позволило проследить ландшафтные трансформации в Приишимье для позднеледниковья и всего голоцена, реконструировать в каких природных условиях обитали первые группы людей и как менялась антропогенная нагрузка на территорию в течении голоцена.

Озеро Мергень (56° 0'5.37"С, 69°17'52.33"В) площадью 26.2 км² расположено в Ишимском районе Тюменской области, на второй надпойменной террасе реки Ишим. На берегу озера располагаются археологические поселения начиная с эпохи мезолита (стоянка Катенька), основной этап заселения приходится на неолит (поселения Мергень 3, 6, 7, 8) [4–6]. Полученные палинологические данные отчетливо фиксируют переход от открытых ландшафтов позднеледниковой тундро-степи (11.6–10.2 тыс. л. н.) к полуоткрытым лесостепным ландшафтам с расселением разреженных

преимущественно березовых лесов в начале голоцена (10.2–6.9 тыс. л. н.) и позже к появлению смешанных лесостепных березовых-сосновых лесов. Наиболее выраженное облесение лесостепи выявлено около 2.1 тыс. л. н.–505 л. н., когда на фоне увеличения увлажнения березовые леса активно распространялись в лесостепи. Самый теплый интервал, с признаками недостатка увлажнения, выявлен для возраста 6.9–3.3 тыс. л. н., когда были более широко представлены не только луговые, но и остепненные участки. В период обитания людей на стоянке Катенька (6–7 тыс. до н. э.) и первых стационарных неолитических поселений Мергень 6 и 3 (конец VII тыс. до н. э.), их окружали достаточно открытые ландшафты с редкими березовыми колками. Признаки влияния хозяйственной деятельности на растительность – минимальны, на протяжении всего голоцена в редких случаях встречается сорная растительность (крапива, конопля, крестоцветные, цикоревые), культурные злаки встречаются начиная с VII века до н. э.

По результатам реконструкции пожарной динамики вначале голоцена (12–8.7 тыс. л. н.) пирогенных событий, как и лесов, было мало. Однако, начиная с 8.7–7.6 тыс. л. н. наблюдается резкое увеличение пожарной активности, что с одной стороны согласуется с началом более теплого и сухого интервала, а с другой – совпадает с первыми поселениями неолита. В динамике пожарных событий наблюдаются спады и подъемы, однако общая тенденция указывает на увеличение частоты пожаров во второй половине голоцена.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-27-00437.

Литература

- [1] Иванов С.Н., Рябогина Н.Е. Материалы палинологического исследования торфяника Станичный Рям // Проблемы взаимодействия человека и природной среды. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. Вып. 4. С. 62–68
- [2] Ларин С.И., Рябогина Н.Е. К истории развития болотных экосистем подтаежного Приишимья в голоцене // Геоэкологические проблемы Тюменского региона. Тюмень: Изд. Вектор-Бук, 2006. Вып. 2. С. 234–245.
- [3] Рябогина Н.Е., Орлова Л.А. Позднеголоценовый торфяник Гладиловский Рям как индикатор изменения палеоэкологических условий Ишимской равнины // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2004. № 4. С. 203–214.
- [4] Зах В.А., Зимина О.Ю., Рябогина Н.Е. и др. Ландшафты голоцена и взаимодействие культур в Тоболо-Ишимском междуречье. Новосибирск: Наука, 2008. 212 с.
- [5] Еньшин Д.Н. Керамический комплекс поселения Мергень 7 (Нижнее Приишимье): Характеристика и интерпретация // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2015. № 2 (29). С. 15–27.
- [6] Piezonka H., Kosinskaya L., Dubovtseva E. et al. The emergence of hunter-gatherer pottery in the Urals and West Siberia: New dating and stable isotope evidence // Journal of Archaeological Science. 2020. Vol. 116. P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105100>

Динамика растительности Средней Саксонии в голоцене: реконструкция по палинологическим данным озера Зальцигер

Новенко Е.Ю.

Институт географии РАН, г. Москва

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

e-mail: lenanov@mail.ru

Реконструкция изменений растительности в голоцене в Средней Саксонии (Восточная Германия) была выполнена по палинологическим данным из отложений небольшого озерного бассейна Зальцигер (Salziger See), расположенного в 35 км к северо-западу от г. Халле/Заале. В настоящее время озеро Зальцигер полностью спущено. До осушения озера в конце XIX века, оно занимало площадь 8.79 км² и имело среднюю глубину 7–8 м. Бурение, отбор образцов и геохимические исследования отложений были выполнены в 2003 г. коллегами из Института геофизики и геологии Университета Лейпцига (Германия). Граница позднеледниковья и голоцена в рассматриваемом разрезе совпадает с началом накопления карбонатных отложений. Обломки древесины, обнаруженные в 3–6 см выше нижней границы слоя карбонатной гиттии, имеют возраст 11616 и 11437 кал. л. н.

Спорово-пыльцевые спектры периода 11600–10000 кал. л. н. в разрезе отложений озера Зальцигер отражают распространение сосновых и березово-сосновых лесов на территории, прилегающей к озеру. Спектры характеризуются ростом содержания пыльцы сосны (до 80 %) и березы (15–20 %) с появлением единичных пыльцевых зерен широколиственных пород деревьев (*Quercus*, *Ulmus* и *Alnus*). В интервале между 10000 и 7000 кал. л. н. озеро Зальцигер было окружено широколиственно-сосновыми лесами с участием дуба, вяза, липы, клена и ясеня и хорошо развитым подлеском из лещины. Начиная примерно с 7000 кал. л. н., доля сосны в древостоях сократилась, и дубовые леса стали доминировать в растительном покрове.

В среднем голоцене на территории Центральной Европы начал распространяться бук. В изученном разрезе единичные пыльцевые зерна *Fagus* зафиксированы около 8500 кал. л. н., но постоянным компонентом спектров с заметным процентным участием (5–10 %) бук становится около 6700 кал. л. н. В это же время появляется пыльца граба, но его доля в спектрах не превышает нескольких процентов.

Начиная с 4000 кал. л. н., содержание пыльцы бука в отложениях увеличивается до 25–30 %, а граба – до 5–7 %. Максимальное содержание пыльцы бука зафиксировано в отложениях, сформировавшихся в период 2500–1200 кал. л. н. Участие пыльцы прочих широколиственных пород деревьев заметно сокращается, однако пыльца дуба присутствует в спектрах в количестве 10–12 %, что указывает на существование в течение второй половины голоцена дубово-букowych и грабово-дубowych. Влажные

местообитания были заняты ольшаниками: доля пыльцы ольхи остается относительно высокой в верхней части разреза.

Драматические изменения растительности вокруг озера Зальцигер произошли около 1100 кал. л. н. и связаны с хозяйственным освоением территории в Средние века. Содержание пыльцы широколиственных пород заметно сокращается. В группе пыльцы травянистых растений обильна пыльца злаков, в том числе культивируемых. Постоянные компоненты спектров – растения-индикаторы антропогенных нарушений растительности, в частности, виды из сем. *Chenopodiaceae*, *Plantago*, *Rumex*, *Urtica*, присутствует пыльца *Polygonum aviculare*-type, *Convolvulus*, *Centaurea cyanus*.

Полученные данные позволяют выделить следующие основные этапы изменений растительности в голоцене: (1) экспансия широколиственных лесов, обусловленная потеплением климата раннего голоцена; (2) развитие буковых и дубово-буковых лесов; (3) антропогенные нарушения растительности и формирование агроландшафтов.

Малое озеро в краевой зоне Валдайского оледенения как источник высокоразрешающих данных о растительности голоцена

Носова М.Б.^{1,2*}, Зарецкая Н.Е.², Константинов Е.А.², Захаров А.Н.²

¹ *Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН, г. Москва*

² *Институт географии РАН, г. Москва*

*e-mail: mashanosova@mail.ru

Комплексом палеоэкологических методов было исследовано малое озеро Петровское (56.72481° с. ш., 31.57739° в. д.) – спутник озера Ручейского (Косиловского) в Торопецком районе Тверской области. Эта система озер со стоком в р. Сережа Ловатского бассейна расположена в понижении между моренными холмами, основания которых перекрыты флювиогляциальными песками. Озера питаются малой рекой Саминкой и ручьями. Петровское имеет сток в Ручейское в виде ручья через заболоченный перешеек.

Путем бурения со льда при помощи поршневого бура Ливингстона получена колонка донных отложений мощностью 16.35 м (при глубине воды 6 м, глубина забоя 22.35 м). Керн был разделен в лаборатории на образцы с шагом 5 см и использован для комплекса анализов: потери при прокаливании (ППП), магнитная восприимчивость, влажность и плотность отложений, гранулометрический состав. Палинологический анализ проведен с интервалом 10 см. Радиоуглеродный возраст в основании отложений составил 10100 кал. л. н. (9000±90, ИГАН-10449). Благодаря своему положению в рельефе и небольшому размеру (200 на 300 м), а также большой мощности отложений,

озеро является субрегиональным палеоархивом высокого разрешения, что позволит использовать его для реконструкции природных условий Двинско-Ловатского междуречья.

В основании пробуренных отложений залегает морена бурого цвета, перекрытая сфагновым и древесно-сфагновым торфом (21.75–22.15 м), который на глубине 21.7–21.75 м, перекрывается неорганической прослойкой. Выше этого уровня начинаются органогенные озерные отложения с относительно низкой скоростью накопления, нижняя часть которых датирована 10100 кал. л. н., что соответствует потеплению начала бореального периода. Низкая скорость накопления сохраняется до глубины 19.90 м (7030 кал. л. н., 6020±90 ИГАН-10448). На глубинах 16–19 м слоистые отложения содержат около 30 % органического вещества, а в верхней части доходит до 60–70 %. Наблюдается несколько эпизодов снижения ППП, последний из которых, на глубине 8.3 м, соответствует, по-видимому, времени сведения коренных хвойно-широколиственных лесов в железном веке. Результаты палинологического анализа показали, что в нижней части диаграммы, соответствующей раннему голоцену, спектры отражают ранние этапы формирования растительности на моренных отложениях. Далее произошло заболачивание этого участка, и вплоть до 10100 кал. л. н. древесно-сфагновое болото было окружено лесом из березы и сосны с участием *Salix* и *Betula nana*, при значительном участии травянистой растительности (Poaceae, Cyperaceae, Chenopodiaceae, *Artemisia* и папоротников). Начало формирования озера связано со значительными перестройками ландшафта вокруг него. В составе растительности в этот период наращивает участие ель и начинают содоминировать широколиственные породы (*Ulmus*, *Quercus*, *Tilia*, в меньшей степени *Fraxinus* и *Acer*). *Alnus* также увеличивает участие, отражая древесный покров заболоченных понижений вокруг озера. В течение термического оптимума голоцена преобладают елово-широколиственные леса, доля открытых участков небольшая. В суббореальном периоде начинается постепенная деградация широколиственных элементов, сначала повышается участие *Picea*, а затем, после появления в спектрах пыльцы антропогенных индикаторов, доля ели и широколиственных пород снижается в несколько этапов. В составе лесного покрова начинают преобладать береза и сосна.

Новые данные о динамике природной среды северо-восточного Приаралья в позднем голоцене

Панин А.В.^{1*}, Сапелко Т.В.², Лудикова А.В.², Бронникова М.А.¹, Карпова Ю.О.¹, Успенская О.Н.³

¹ *Институт географии РАН, г. Москва,*

² *Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

³ *ВНИИ овощеводства – филиал ФГБНУ, пос. Верея Московской обл.*

*e-mail: a.v.panin@igras.ru

Изучен керн скважины, пробуренной в северо-восточном Приаралье в 40 км к юго-западу от г. Казалинск (Кызылординская область Республики Казахстан), в вытянутом понижении, в котором на некоторых картах середины XX в показан залив Аральского моря Бозкель. Уровень дна заливоподобного понижения на абсолютной отметке 57 м, что выше зафиксированного в 1960 г. и считающегося максимальным в XX в. уровня 53.5 м. Проверялась гипотеза о существовании этого залива в Раннем Средневековье (V–XI вв. н. э.), когда в ближайших окрестностях имелась достаточно густая сеть поселений, которые могли использовать этот залив как водный путь.

До глубины 2.4 м глинистые алевриты скважина вскрыла, ниже вошла на 0.1 м в обводненные мелкие пески. Радиоуглеродное датирование (AMS) показало, что разрез накапливался относительно равномерно в течение последних ~3.5 тыс. лет, судя по составу – в условиях стоячей воды. В составе биостатков размерностью больше 250 мкм преобладают тростник, камыш, рогоз. Ниже 1.7 м встречаются харовые водоросли. На глубинах 1.05 и 2.05 м встречена единичная чешуя рыб. Состав биоостатков говорит о пресноводной болотной или мелководной обстановке осадконакопления.

Результаты диатомового анализа свидетельствуют о преобладании условий, неблагоприятных для развития и аккумуляции диатомовых водорослей и других кремнистых микрофоссилий, вероятно, связанных с поступлением больших объемов терригенного материала. Установление обстановок, благоприятных для развития водной биоты и накопления ее остатков в отложениях, происходит ~1.3 тыс. кал. л. н. В этот период можно говорить о существовании мелководных, слабосоленоводных условий. По-видимому, формирование осадков в значительной степени происходит под влиянием вод р. Сырдарьи.

Результаты спорово-пыльцевого анализа показали несколько этапов увлажнения и иссушения климата. Влажные периоды способствовали распространению водной растительности и появлению древостоев. Пыльца широколиственных пород, отмеченная в некоторых периодах увлажнения, может свидетельствовать о распространении пойменных лесов. Засушливые периоды характеризовались

исчезновением древесных пород. Травянистый покров представлен в основном ксерофитными сообществами.

Таким образом, изученная ложбина никогда не была заливом Арала, и в последние 3.5 тыс. лет его уровень до высоты 57 м не поднимался. Залив Бозкель обозначен на картах середины XX в. ошибочно – вероятно, за залив были приняты болота и временные водоемы, наполнявшиеся местным стоком, в том числе по многочисленным древним рукавам дельты Сырдарьи. Изученная ложбина представляет собой, по-видимому, котловину выдувания (сор), но ее линейные очертания и крупные размеры позволяют предположить, что эоловые процессы перерабатывали древнее русло и пояс блуждания крупной реки – самой Сырдарьи.

Исследования выполнялись при поддержке проекта РНФ 22-17-00259.

Динамика тафоценоза кладоцер озера Змеиное (Вологодская область) в голоцене

Пастухова Ю.А.^{1*}, Цыганов А.Н.¹, Садоков Д.О.², Мазей Н.Г.¹, Мазей Ю.А.¹

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

² МГУ-ППИ в Шэньчжэне, г. Шэньчжэнь, Китай

*e-mail: yuliya.pastukhova.98@mail.ru

Донные отложения озер – одни из самых детальных архивов гидрологических и климатических изменений. Использование методов палеоэкологических реконструкций позволяет реконструировать динамику водных экосистем и окружающей среды в прошлом. Обычно самые обильные тафоценозы в отложениях формируют представители зоопланктонных сообществ – Cladocera, которые используются в качестве биоиндикаторов. Цель работы – анализ динамики тафоценоза кладоцер озера Змеиное (Вологодская область) в голоцене.

Озеро Змеиное (58.5624° с. ш., 37.6119° в. д.) расположено в центральной части Молого-Шекснинской низменности (Дарвинский государственный природный биосферный заповедник). Отложения общей мощностью 409 см отбирали со льда в марте 2022 г. ручным буром (длина пробоотборника 1 м). Тафоценоз кладоцер анализировали с разрешением 6 см. На глубине 49–396 см от поверхности отложений залежи представлены торфянистым сапропелем, подстилаемым минерализованным алевропелитом (396–409 см) [1]. Затем на глубине 29–49 см отмечен переходный горизонт к органогенным илам, которые формируют верхние 29 см.

Всего идентифицирован 21 таксон Cladocera, принадлежащих к четырем семействам (Bosminidae, Chydoridae, Eurycercidae и Sididae). Тафоценоз кладоцер на

протяжении развития озера был неоднородным с преобладанием фитофильных видов. В то же время пелагические виды также были отмечены почти на всех глубинах и представлены видами *Bosmina coregoni* (Baird, 1857) и *B. longirostris* (O. F. Muller, 1776). На начальной стадии формирования озера доминировал ветвистоусый рачок *Alona quadrangularis* (O.F. Müller, 1875). Со временем его в качестве доминанта сменил эвритопный фитофильный вид *Chydorus sphaericus* (O. F. Muller, 1776). На глубинах 240–110 см его доля в тафоценозе составила более 50 %, что свидетельствует о сильном зарастании и эвтрофикации озера. Вероятно, это было связано с повышением среднегодовой температуры воздуха и снижением количества осадков, реконструированных на основе спорово-пыльцевого анализа [1]. Начиная с 67 см, число остатков *C. sphaericus* резко снизилось, что совпало с увеличением среднегодового количества осадков и переходом к органогенным иловым отложениям. В это время возросла доля эврибионтного рачка *Alona affinis* Leydig, 1860. Виды кладоцер *Leydigia leydigi* (Schoedler, 1863), *Pleuroxus uncinatus* (Baird, 1850), *Camptocercus rectirostris* Sars, 1862, *Disparalona rostrate* (Koch, 1841) и *Sida crystallina* (O.F. Müller, 1776) отмечены только в торфянистых отложениях, что говорит об изначальном зарастании озера макрофитами.

Видовая структура тафоценозов кладоцер в озере Змеиное изменяется в течение голоцена в соответствии с трофическим статусом водоема. Дополнительные анализы (радиоуглеродный, ризоподный, хирономидный, ботанический) позволят реконструировать более детальную динамику озерной экосистемы в течение голоцена.

Литература

[1] Суворова А.Н., Садоков Д.О., Савельева Л.А. Палеоэкологическое исследование озера Змеиное (центральная часть Молого-Шекснинской низменности): результаты полевых работ // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2022. №9. С. 352–354. doi: 10.24412/2687-1092-2022-9-352-354

Использование метода георадарного сканирования для реконструкции уровня Балтийского моря на примере озера Голубого (Карельский перешеек)

Пивовар А.В. *, Шаталова А.Е.

РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург

*e-mail: herzen-osoumu@mail.ru

В марте 2023 г. состоялась экспедиция на оз. Голубое (Карельский перешеек) по изучению донных отложений с применением геофизического метода – георадарного сканирования. За период исследования оз. Голубого было отобрано 8 м донных

отложений, для которых было выполнено АМС-датирование, литостратиграфический, диатомовый, геохимический и анализ ППП. Для подтверждения ранее полученных результатов был применен метод георадарного сканирования. В исследовании используется георадар ОКО-3 с антенным блоком АБДЛ-Тритон, с помощью которого определяется скорость прохождения и отражения электромагнитных волн. Эти данные впоследствии интерпретируются в качественный состав донных отложений. Данный метод позволяет бесконтактно и с высокой производительностью охватить большие площади озера глубиной до 15 м. Преимуществом современного георадарного зондирования является большая скорость и непрерывность измерений, а также достаточно четкое определение границ озерных и озерно-ледниковых отложений в озере [1]. При работе с георадаром по льду озера Голубого формируется запись принятых сигналов. На основании полученных сигналов автоматически формируется георадиолокационный профиль или георадарограмма на экране ноутбука. В программе Geoscan-32 производится дальнейшая обработка результатов.

При сопоставлении результатов георадарной съемки и ранее использованных методик изучения озера Голубого (таблица) стоит отметить, что граница озерных и озерно-ледниковых отложений совпадает с литологической границей на глубине 8.12 м. На глубине 9.90–8.0 м по диатомовому анализу зафиксировано резкое уменьшение содержания диатомей рода *Aulacoseira*, что говорит об изоляции от Анцилового озера [2]. В результате проведенного геолокационного исследования можно сделать вывод, что применение этого метода является достаточно эффективным для реконструкции уровня Балтийского моря в голоцене.

Таблица – результат георадарного сканирования

Глубина, см		Литологическое описание	Результат георадарного сканирования
от	до		
800	812	коричнево-зелёная гиттия	озерные отложения
812	860	серая гиттиевая глина	озерно-ледниковые отложения

Литература

- [1] Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных учебное пособие – 2-е издание, исправленное и дополненное. М.: «КДУ»; «Добросвет», 2023. 258 с.
- [2] Шаталова А.Е., Кублицкий Ю.А., Субетто Д.А. и др. Проблемы сохранения и развития Балтийского моря / Материалы международной научно-практической конференции «Природное и культурное наследие. Междисциплинарные исследования, сохранение и развитие». СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2018. С. 451–453.

Реконструкция долговременных изменений в водохранилищах по затопленным на их территории озерам (на примере Иваньковского водохранилища)

Разумовский Л.В.* , Разумовский В.Л., Кушнарера Т.Н., Анисимова А.В.

Институт водных проблем РАН, г. Москва

*e-mail: lazy-lion@mail.ru

Работа посвящена оценке результатов практического применения новой концепции комплексного мониторинга (НККМ). Теоретическая новизна концепции состоит в совместном анализе диатомовых комплексов из колонок донных отложений и современных фитопланктонных комплексов. В качестве объекта исследований было выбрано Иваньковское водохранилище. Это определялось длительностью его существования, мощностью накопившихся отложений и степенью изученности.

В результате проведенных исследований было установлено оптимальное месторасположение отбора колонок донных отложений (ДО) в Иваньковском водохранилище. При образовании водохранилища произошло затопление озера Видогощь, расположенного на его территории. Образовавшийся морфометрический рельеф дна определил зоны расположения этого озера как области устойчивой седиментации.

Более того, зона накопления ДО в условиях сформированного водохранилища может быть достоверно распознана и выделена по диатомовому анализу при сравнении с теми осадками, которые образовались в затопленном озере до создания водохранилища. Это позволяет получить данные о планктонных комплексах и химическом составе вод на протяжении всего существования водохранилища. Значимая составляющая диатомовых водорослей в фитопланктонных комплексах (40–60 %) позволяет провести возрастную идентификацию диатомовых комплексов из ДО с теми или иными временными интервалами биомониторинга, который проводился на акватории водохранилища.

В результате экспедиционных исследований (2022–2023 гг.) на территории расположения затопленного оз. Видогощь, были отобраны две колонки ДО. Мощность колонок ДО, отобранных в Иваньковском водохранилище, составляет 94 и 112 см. В нижней части колонок идентифицируется выраженная слоистость осадков, что соответствует времени существования озера до затопления водами водохранилища. Верхний интервал колонок (60–64 см) соответствует этапу формирования осадков в условиях образованного водохранилища.

В дальнейшем планируется решение и обратной задачи: возможность «заполнить» временной период 1990-х гг., когда биомониторинг был прерван, и информация отсутствовала. Разумеется, это возможно со значительными допущениями, поскольку такие значимые группы фитопланктона, как зеленые, синезеленые и др. водоросли, плохо сохраняются в осадке. Однако их видовой состав и численность

имеют выраженную корреляционную зависимость от таксономической структуры диатомовых комплексов.

Если обратная задача по восстановлению непрерывности рядов наблюдений будет успешно разрешена, то будет возможна достоверная реконструкция долговременных изменений в таксономической структуре фитопланктонных комплексов с самого момента создания водохранилищ, когда система биомониторинга еще не была внедрена.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.

Условия осадконакопления в палеоводоемах северной части Самбийского полуострова в беллинге-аллереде

Рудинская А.И.^{1*}, Дружинина О.А.², Филиппова К.Г.¹, Лазукова Л.И.¹, Лаврова Н.Б.³, Жаров А.А.⁴, Сходнов И.Н.⁵, Бурко А.А.⁵

¹ *Институт географии РАН, г. Москва*

² *РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург*

³ *Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск*

⁴ *Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, г. Москва*

⁵ *НИЦ «Прибалтийская археология», г. Калининград*

* e-mail: anna.rudinskaya@igras.ru

Отступление Скандинавского ледникового покрова в юго-восточной Прибалтике началось около 16 000 кал. л. н. и завершилось между 15 000–14 000 кал. л. н. [1]. Талые воды собирались по краю ледника, образуя подпруженные льдом озера, в результате объединения которых около 14 500–14 000 кал. л. н. образовалось Балтийское ледниковое озеро (БЛО) [2]. В разрезе Куликово вскрываются отложения одного из обособленных более мелких водоемов, существующих на суше вдоль побережья БЛО и собирающих воду из тающего мертвого льда. Мощность отложений, вскрывающихся в разрезе, составляет 2 м, а время их накопления, судя по результатам радиоуглеродного датирования, охватывает период с 14 100 по 12 900 кал. л. н., то есть соответствует времени существования БЛО и, возможно, его первому прорыву, случившемуся около 13 000 кал. л. н.

Для реконструкции условий осадконакопления этого палеоводоема был выполнен литологический, диатомовый, спорово-пыльцевой анализы и анализ микроостатков. Видовой состав диатомовых ассоциаций указывает на существование условий пресного неглубокого водоема с периодически меняющейся минерализацией и степенью эвтрофикации. Зоогенный состав указывает на периодическое изменение

условий проточности изучаемого палеоводоёма. Состав спорово-пыльцевых спектров указывает на периодическое заболачивание

В результате комплексного изучения разреза Куликово выявлены этапы развития палеоводоёма, сопровождавшихся трансформацией гидрологического режима и сменой водных сообществ в результате их реакции на кратковременные (длительностью в несколько десятилетий) потепления и похолодания, происходившие в беллинге, среднем дриасе и аллереде.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-17-00113 «Критические рубежи и палеоклиматические события позднего плейстоцена и голоцена и их роль в формировании природно-культурных ландшафтов юго-восточной Прибалтики».

Литература

[1] Andrén T., Björck S., Andrén E. et al. The Development of the Baltic Sea Basin During the Last 130 ka. / Harff J., Björck S., Hoth P. (eds.) The Baltic Sea Basin, 2011. P. 75–97.

[2] Úscinowicz S. An Outline of the History of the Baltic Sea // Úscinowicz S. (ed.); Geochemistry of Baltic Sea Surface Sediments, 2nd ed, Warsaw: Polish Geological Institute-National Research Institute, 2011. P. 70–73.

Морские геологи на Великих озерах (некоторые приложения морских геологосъемочных методов для решения палеогеографических задач развития озерных бассейнов по восточной периферии Балтийского кристаллического щита)

Рыбалко А.Е.

ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им.

А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург

Институт наук о Земле СПбГУ, г. Санкт-Петербург

e-mail: alek-rybalko@yandex.ru

Волей судеб Ленинград-Санкт-Петербург одновременно находится на берегах Атлантического океана (в лице Маркизовой лужи) и недалеко от Ладожского озера, а следовательно, и организации, занимающиеся морскими геологическими исследованиями и Институт Озероведения РАН размещались и размещаются в одном городе. Это, конечно, не могло ни привести к формированию совместных интересов для исследования озер: Ладожского и Онежского, которые мы воспринимаем как Великие озера Севера Европы. Результатом явилась первая экспедиция на Ладожское озеро ВСЕГЕИ в 1974 году на судне ВСЕГЕИ-1. В 1979 году уже состоялся первый

совместный рейс ВСЕГЕИ и ИНОЗ АН СССР на еще новом НИС «Таллан». В экспедиции наряду с маститыми учеными, много лет отдавшими изучению Ладожского озера: Н.Н. Давыдовой и И. И. Красновым, принимал участие и только что окончивший институт литолог Д.А. Субетто Сотрудничество (я имею ввиду рейсы на Ладогу ВСЕГЕИ) продолжалось до начала 2000 г., но очередные критические дни нашей Родины заставили досрочно завершить эти работы. Новый всплеск исследований связан с возобновлением интереса к проблеме водных бассейнов, расположенных по периферии Балтийского кристаллического щита: озер Ладожского и Онежского и морей Белого и Балтийского. Здесь участвовали уже новые игроки: институт наук о Земле СПбГУ, научный парк МГУ, предоставивший для проекта новейшую сейсмоакустическую аппаратуру, ВНИИОкеангеология, а также Институт водных проблем Карельского центра РАН, который возглавлял Д.А. Субетто - руководитель палеолимнологических исследований на Северо-Западе РФ. Эти работы начались на Ладожском озере в 2014 году, когда были проведены региональные сейсмоакустические работы, захватившие и район исследований Российско-Германской экспедиции. Но по настоящему они проводились в 2016 г. году на Онежском озере, когда были выполнены работы в Петрозаводской губе с детальным сейсмоакустическим профилированием с использованием многоканальной косы и комплексным пробоотбором. Здесь же было проведено бурение (в 2019 г.), которое вскрыло весь надледниковый разрез и верхнюю часть моренных отложений. Почти пятилетние работы по этой проблеме, проводившиеся с привлечением грантов РФФИ и РНФ огромным коллективом исследователей закончились изданием фундаментальной книги «Палеолимнология Онежского озера».

Морские геолого-геофизические технологии, использованные для изучения крупных озер, позволили оценить мощность четвертичного разреза на всю его мощность, провести его стратификацию и заглянуть в основание наиболее мощных зон седиментации. Тяжелый колонковый пробоотбор явился источником материала для литологического и биостратиграфического изучения донных осадков. Были составлены полноценные комплекты геологических карт масштаба 1:1000000 в рамках Государственного геологического картирования.

В докладе подробно освещаются результаты работ использования технологий морских геолого-геофизических работ на Ладожском и Онежском озерах.

Новые направления развития палеолимнологических исследований в Институте озероведения РАН

Сапелко Т.В.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: tsapelko@mail.ru

Палеолимнологическое направление Института озероведения берет свое начало с первых дней существования Лаборатории озероведения. Все последующие годы исследования продолжались и велись непрерывно. Одним из важнейших результатов этих исследований является серия монографий «История озер» в 8 томах. Изучение озер проводилось в гумидной и аридной зонах по всей стране и прилегающих территориях. Выявлены палеоэкологические условия и основные закономерности осадконакопления в малых и больших озерах. В XXI в. группа палеолимнологии продолжает развивать направления, начатые в XX в., а также развивает новые направления и методы в палеолимнологии. Так, группа палеолимнологии, первой для европейской части России, применила метод тefрохронологии в изучении истории озер. Используя комплексный междисциплинарный подход изучения донных отложений озер, разработана методика разделения влияния природных и антропогенных факторов на экосистему озер по палеолимнологическим данным. Методика продолжает совершенствоваться благодаря уникальной структуре Института озероведения РАН, который объединяет необходимых специалистов-лимнологов: палеолимнологов, гидрологов, гидрохимиков, гидробиологов и специалистов по моделированию природных процессов. Развитие старых методов на новом уровне позволяет расширить их возможности. Так, по палинологическим данным проводятся количественные реконструкции палеоклимата. При палинологическом анализе помимо пыльцы изучаются непыльцевые палиноморфы, позволяющие получить важную дополнительную информацию. Параллельно с диатомовым анализом изучаются цисты золотистых водорослей, также дополняющие возможности метода. В настоящее время для реконструкции этапов изоляции озер от более крупных водоемов (озер, морей) разрабатывается новый подход с использованием макроостатков и пыльцы макрофитов. Помимо используемых традиционных методов появились и новые. При сотрудничестве со специалистами из других организаций в комплексном палеолимнологическом анализе помимо литологического, геохимического, палинологического и диатомового анализов используются результаты радиометрических методов (включая AMS-датирование), анализа растительных макроостатков, фитолитного, хирономидного, ризоподного, кладоцерного и других анализов. В последние годы впервые за длительный период изучения донных отложений Ладожского озера удалось получить серию радиоуглеродных (AMS) датировок для нескольких колонок донных отложений в разных частях озера. Это позволило уточнить данные палиностратиграфии, с помощью которой до недавнего времени датировали все колонки донных отложений Ладоги.

Установлена различная скорость седиментации за период позднего плейстоцена и голоцена, при этом самая низкая скорость осадконакопления была рассчитана для современного периода. Выявлены периоды снижения продуктивности экосистемы Ладоги около 1700 лет назад, связанные с похолоданием климата. В настоящее время впервые для изучения колонок донных отложений Ладожского озера применен ризоподный анализ, а также анализ ДНК озерных отложений. География изученных озер также расширяется. Проводятся исследования озер на территории от Баренцева моря до Черного и от Чудского озера до Урала. Изучаются озера и за пределами России. В Армении впервые проведены комплексные палеолимнологические исследования высокогорных озер, получены результаты по голоценовой истории изученных озер. Продолжаются исследования озер Гималайской горной системы.

Лимнология горных регионов (История исследований горных озер в ИНОЗ РАН)

Севастьянов Д.В.

ЛГУ им. А.С. Пушкина, г. Санкт-Петербург

e-mail: ecolim@mail.ru

Обсуждается история организации изучения лимнологии горных регионов в Институте озероведения РАН. В основе интереса к горным озерам лежали разработки Ф. Фореля по горным озерам Альп, где были показаны отличия условий лимногенеза в горах от равнинных территорий. Калесник С.В., сначала, будучи заведующим Лабораторией озероведения АН СССР, а позднее – директором Института озероведения АН СССР, проявлял большой интерес к гляциологии горных территорий и поддержал развитие исследований горных озер. В 1960–1970-х гг. под научным руководством А.В. Шнитникова – начальника Казахстанской экспедиции Института озероведения АН, проводилось изучение равнинных озер в Кустанайской и Кокчетавской областях, как индикаторов изменчивости увлажненности климата аридных территорий. Затем, в сферу его интересов вошли горные территории Казахстана и Киргизии – хребты Тянь-Шаня, где формируется сток рек, стекающих на равнинные территории Казахстана и Средней Азии. В 1975 г. была организована Тянь-Шанская экспедиция Института озероведения АН СССР и под руководством д. г. н., проф. А.В. Шнитникова начались исследования крупных внутригорных озер Тянь-Шаня – Иссык-Куль, Сонкель, Чатыркель, а также других малых приледниковых озер. Изучение проблем горного лимногенеза и выявление особенностей современного состояния горных озер, истории их возникновения и динамики во взаимодействии с горным оледенением, было поручено старшему научному сотруднику, к. г. н. Н.П. Смирновой, младшему научному сотруднику Л.А. Земляничной и аспиранту

Института озероведения АН СССР Д.В. Севастьянову. Сотрудниками экспедиции были осуществлены комплексные экспедиционные исследования горных озер. Выполнены палеолимнологические исследования в целях выявления особенностей истории и эволюции озер в горных районах, проведены исследования современного состояния разных горных озер Тянь-Шаня и Памира, изучены их водные и биологические ресурсы.

Основные результаты исследований сотрудников Тянь-Шанской экспедиции были доложены на Всероссийских и Международных конференциях, изложены в трудах Института озероведения АН, в коллективных монографиях, таких как многотомное монографическое издание «История озер СССР»; монографии «Озера Тянь-Шаня и их история», «Климатология, гидрология и гидрофизика озер Тянь-Шаня», «Озеро Иссык-Куль и тенденции его природного развития», «История озер Севан, Иссык-Куль, Балхаш, Зайсан и Арал».

Изучение истории развития озер Тянь-Шаня и других горных регионов Евразии позволило понять общие закономерности послеледниковой эволюции горных озер, выявить особенности их взаимодействия с горным оледенением и циклическими изменениями климата на территории Евразии, наметить мероприятия по сохранению водных ресурсов горных озер Средней Азии.

Факторы, влияющие на распределение ^{210}Pb и ^{137}Cs в донных отложениях озер

Страховенко В.Д.* , Малов Г.И., Овдина Е.А., Малов В.И.

Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск

*e-mail: strahova@igm.nsc.ru

Существует целый ряд подходов к определению возраста осадков. При отсутствии четко выраженной слоистости, надежным стратиграфическим маркером, позволяющим оценить скорости современного осадконакопления, являются радиоактивные изотопы — ^{210}Pb и ^{137}Cs . На базе метода радиометрического датирования с использованием неравновесного ^{210}Pb , в современных озерных отложениях проведено датирование 168 кернов донных осадков малых озер из различных ландшафтных зон Сибири и 7 озер Карелии. Подтверждение корректности использования модели CRS (the Constant Rate of Supply) датирования осадков по ^{210}Pb проводится по сопоставлению накопления ^{210}Pb с распределением радионуклида ^{137}Cs в донных осадках по реперным точкам: 1949 г. – появление со времен первых ядерных испытаний; 1963 г. – максимальный выброс техногенных нуклидов перед введением моратория на запрет ядерных испытаний в атмосфере; 1986 г. – авария на Чернобыльской АЭС. Согласно расчетам скоростей осадконакопления по модели CRS

в разрезах донных отложений скорость осадконакопления составляет в условиях среднегорья Улаганской долины (оз. Бирюзовое – 2.6 мм/г; оз. Игисту-Коль – 2.1 мм/г) и высокогорья Укокского плоскогорья (оз. Малое Тархатинское – 2.7 мм/г; оз. Аргамджи – 3.9 мм/г). Согласно расчетам по распределению ^{210}Pb , появление и далее рост активности ^{137}Cs в вертикальных разрезах донных отложений озер начинается с разных глубин: так в оз. Аргамджи на глубине 30 см от границы вода-донный осадок, а в М. Тархатинском на глубине 15 см, но во всех озерах около 1950 г. – начала ядерных испытаний на испытательных полигонах. Пиковые содержания ^{137}Cs во всех изученных кервах озер приходятся на самые верхние горизонты, что указывает на продолжающиеся поступления радиоцезия с аллохтонными частицами моренных четвертичных отложений водосборных бассейнов. Сопоставления скоростей осадконакопления в донных отложениях горных озер между собой и с озерами, расположенными на территории других ландшафтных зон юга Западной Сибири показало, что скорости ненарушенной седиментации сильно изменяются от озера к озеру, варьируя в диапазоне от 0.5 мм/год до 3.9 мм/год в пределах любого ландшафта и между ландшафтами.

Во всех ландшафтных зонах в ряде кервов изученных озер не удалось выявить неравновесный ^{210}Pb , а иногда и техногенный ^{137}Cs . На примере Онежского озера авторами доказано отсутствие влияния типа диагенеза на распределения ^{210}Pb и ^{137}Cs в колонках донных отложений. На примере озер юга Западной Сибири, в воде которых формируются солевые корки (галита, троны), со временем опускающиеся на дно и снова растворяющиеся в периоды сильных дождей и ураганного поступления снеготалых вод, наоборот выявлено, что весь неравновесный ^{210}Pb и техногенный ^{137}Cs удерживаются в солевых отложениях (14 озер). Другим фактором, в результате которого неравновесный ^{210}Pb и техногенный ^{137}Cs не поступают в донные отложения, является наличие в воде озер многолетних макрофитов с плавающими листьями (кубышка, кувшинка, горец земноводный). Накопления данных радионуклидов и ряда микроэлементов происходит в их мощных корневищах, которые выполняют роль аккумуляторов и на протяжении длительного времени их удерживают в себе (установлено в 9 озерах).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00111, <https://rscf.ru/project/23-27-00111/>»

Изотопно-кислородный состав остракод Каспийского моря

Ткач А.А.^{1*}, Ткач Н.Т.¹, Зенина М.А.²

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

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

*e-mail: alinaberdnikowa@yandex.ru

Стабильные изотопы кислорода являются важным инструментом изучения физико-географических и палеогеографических закономерностей. Применительно к озерам и внутренним морям они предоставляют уникальную и детальную запись истории водоема, которую порой невозможно получить иным путем. Тем не менее изучение сложной истории развития Каспийского моря с точки зрения анализа стабильных изотопов не получило широкого распространения до настоящего времени. Палеогеографические изотопные исследования Каспийского моря немногочисленны, что, вероятно, объясняется сложностью изучения изолированных водоемов в целом и сложностью динамики Каспия как такового.

Нами впервые изучен изотопно-кислородный состав современных и ископаемых каспийских остракод. Для шести наиболее часто встречающихся в современных пробах видов остракод установлена величина изотопного смещения, связанного с их жизненным циклом (то есть метаболически обусловленного). Его влияние на фракционирование изотопов кислорода видоспецифично и в среднем приводит к положительным отклонениям относительно ожидаемого равновесного формирования кальцита на величину около 1 ‰.

Также дана оценка возможности палеотемпературных реконструкций для Каспийского региона по изотопно-кислородным данным. По всей выборке в среднем прогнозируемая температура превышала фактически измеренную всего на 0.45°C. Проведенная работа позволяет заключить, что предсказанные температуры соответствуют фактическим в точках отбора проб. Применительно к водоему в стационарном состоянии изотопный состав кислорода изученных видов может быть достоверным индикатором температуры воды времени, соответствующего времени кальцификации раковины. Однако в контексте изменений, которые Каспийское море претерпевало на протяжении своей четвертичной истории, подобные попытки расчета палеотемператур могут дать ложные результаты.

Иногда этот факт становится причиной пессимистичных оценок возможностей палеорекопструкций, основанных на изотопно-кислородном методе при изучении озер. Однако сама чувствительность изотопного состава водоема к изменениям окружающей среды и вариациям гидрологического режима делает ~~невозможным использовать~~ измерение изотопии кислорода ценным инструментом ~~как ценный инструмент~~ как для наблюдения за сиюминутными экологическими и гидрологическими изменениями, так и для

палеорекопструкций. В частности, изотопно-кислородный состав каспийских остракод определяет их принадлежность к разным типам водных масс.

В результате изучения колонок и скважин выделено несколько сменяющих друг друга этапов осадконакопления, соответствующих разным стадиям развития Каспийского моря в прошлом. Впервые для Каспийского моря создана обобщенная изотопно-кислородная кривая, включающая изотопно-кислородные измерения по 12 колонкам из глубоководной части моря (Средний и Южный Каспий), надежно датированный интервал которой охватывает последний ледниковый максимум, позднеледниковье и голоцен. Сравнительный анализ результирующей кривой с региональными и глобальными палеоархивами убеждает в надежности результирующей кривой и существовании тесной взаимосвязи Каспия с другими природными системами.

Голоценовые вертикальные движения северо-восточной части Фенноскандии по данным исследования озерных котловин

Толстобров Д.С.* , Толстоброва А.Н., Корсакова О.П.

Геологический институт КНЦ РАН, г. Анатиты

*e-mail: d.tolstobrov@ksc.ru

На территории Кольского региона активно проводятся исследования донных отложений озерных котловин с целью определения характера поднятия территории Кольского региона и, соответственно, перемещения береговых линий Баренцева и Белого морей. Ранее, на основании данных об амплитуде поднятия при использовании интерполяционных и геостатистических методов, были построены новые схемы изобаз [1]. Однако, при сопоставлении схем отмечались значительные расхождения в значении амплитуды поднятия земной поверхности, особенно для территорий, где не было данных. Для построения более достоверных схем изобаз поднятия северо-восточной части Фенноскандинавского щита, необходимо увеличивать количество фактических данных о характере и величине поднятия. Так в последние годы были получены новые данные для нескольких районов Мурманского берега Баренцева моря, а также Карельского и Кандалакшского берегов Белого моря. На баренцевоморском побережье новые данные были получены для нескольких районов: полуостров Средний, пос. Териберка, р. Воронья [2–4]. На беломорском побережье были получены данные для районов р. Колвица, р. Кереть, губа Корабельная, о. Соностров [5–6]. На основании новых и уже известных данных было проведено обновление схемы изобаз поднятия северо-восточной части Фенноскандии. Поднятие земной поверхности оценивалось для временного интервала 10 000 лет. Построение схем изобаз выполнялось при использовании таких методов интерполяции как «триангуляция с линейной

интерполяцией», «метод естественной окрестности», «метод локальных полиномов» и «Кригинг». На полученных схемах видно, что поднятие имеет куполообразный характер, максимальная амплитуда отмечается на юго-западе района исследования (более 120 м). С запада на восток происходит постепенное уменьшение величины поднятия.

Работа выполнена в ГИ КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2024-0007, при частичной поддержке Минпросвещения России (проект № VRFY-2023-0010).

Литература

- [1] Толстобров Д.С., Колька В.В. Новые схемы изобаз поднятия северо-востока Фенноскандии за последние 10 тысяч лет // Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2019. №. 11 (299). С. 3–8.
- [2] Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Шихирин К.А. Предварительные данные об изменении уровня Баренцева моря в районе хребта Мустатунтури, северо-запад Мурманской области // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. 20. С. 211–217.
- [3] Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С., Корсакова О.П. Условия формирования озерных отложений в долине р. Воронья (Кольский полуостров) по данным диатомового анализа // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2023. 20. С. 218–221.
- [4] Kolka V., Tolstobrov D., Corner G. D. et al. Isolation basin stratigraphy and Holocene relative sea-level change on the Barents Sea coast at Teriberka, Kola Peninsula, northwestern Russia // The Holocene. 2023. Vol. 33(9). P. 1060–1072.
- [5] Лобанова Н.В., Шелехова Т.С., Вашков А.А., Толстобров Д.С. Древнее население Карельского берега Белого моря: природная среда, материальная культура, образ жизни // Петрозаводск: РК Принт, 2022. 103 с.
- [6] Лудикова А.В., Греков И.М. Предварительные результаты диатомового анализа проб донных отложений оз. Антюх-Ламбина (ЮЗ Кольского полуострова) // География арктических регионов 2017. СПб.: Типография ООО «Старый город», 2017. С. 33–36.

Условия осадконакопления в озерах центральной части Кольского региона в поздне- и послеледниковое время

Толстоброва А.Н.*, Толстобров Д.С., Корсакова О.П.

Геологический институт КНЦ РАН, г. Апатиты

*e-mail: a.tolstobrova@ksc.ru

В позднеледниковое время во внутреннюю часть Кольского региона по Имандровской депрессии проникали морские воды [1–4]. Для определения масштабов и времени проникновения морских вод были проведены комплексные исследования донных отложений озер в разных частях Имандровской депрессии, а также донных

осадков самого оз. Имандра. Проведено литологическое изучение, радиоуглеродное датирование и частично микропалеонтологическое изучение донных отложений озер Круглое и Бек. В разрезах вскрыты минерогенные и органогенные осадки, которые отражают изменение условий окружающей среды в пределах Имандровской депрессии.

Установлено, что минерогенная толща в разрезах исследуемых озер формировалась в приледниковом водоеме. Выше по разрезу появляется органика, что отражает установление благоприятных условий для развития растений. По данным радиоуглеродного датирования нижней части органогенной толщи осадков оз. Круглого можно говорить о том, что уже в аллереде данная территория была свободна ото льда. Дальнейшее формирование осадков происходило в период, когда депрессии озер Круглое и Бек входили в состав крупного водоема пра-Имандры. Стоит отметить, что ранее по литологическому сходству донных осадков оз. Бек с осадками оз. Осиновое [3] мы предполагали, что, возможно, их формирование происходило в солонатоводных условиях, но данные диатомового анализа это не подтвердили. На протяжении всего осадконакопления в осадках оз. Бек, накапливались только пресноводные отложения. В результате понижения береговой линии пра-Имандры произошла изоляция котловин исследуемых озер. Согласно геохронологическим данным, изоляция от пра-Имандры произошла в начале голоцена. Формирование верхней части органогенной толщи осадков происходило в условиях, близких к современным.

Кроме того, по предварительным данным диатомового анализа донных отложений самого озера Имандра следов морского бассейна в пределах Большой Имандры не обнаружено. В донных осадках выявлены исключительно пресноводные виды диатомовых водорослей. Соответственно, можно сделать вывод об отсутствии соединения между Баренцевым и Белым морями, и о проникновении морских вод в Имандровскую депрессию со стороны лишь Белого моря.

Работа выполнена в ГИ КНЦ РАН в рамках темы НИР FMEZ-2024-0007 при частичной поддержке Минпросвещения России (проект № VRFY-2023-0010).

Литература:

- [1] Лаврова М.А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.–Л.: Наука, 1960. 233 с.
- [2] Никонов А.А. Развитие рельефа и палеогеография антропогена на западе Кольского полуострова. М.–Л.: Наука, 1964. 181 с.
- [3] Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С., Колька В.В., Корсакова О.П. История развития озера Осинового (Кольский регион) в поздне- и постледниковое время по материалам диатомового анализа донных отложений // Труды Карельского научного центра РАН, Сер. Лимнология. 2016. № 5. С. 106–116.
- [4] Korsakova O., Tolstobrov D., Nikolaeva S. et al. Imandra Lake depression in the Late Glacial and early Holocene (Kola Peninsula, N–W Russia) // Baltica. 2020. Vol. 33, No 2. P. 177–190.

Особенности формирования рельефа дна Чухломского озера (Костромская область)

Филиппова К.Г.^{1*}, Константинов Е.А.¹, Захаров А.Л.¹, Кузьменкова Н.В.^{1,2},
Медведев А.А.¹, Мельников М.Г.³

¹ *Институт географии РАН, г. Москва*

² *МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

³ *Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики», г. Москва*

* e-mail: xenia.filippova@igras.ru

Лаборатория палеоархивов природной среды ИГРАН проводит палеолимнологические исследования на Чухломском озере, расположенном в северной части Костромской области на возвышенной Галичско-Чухломской гряде (водораздел рек Костромы и Унжи с абсолютными высотами 150.0–293.3 м), южнее границы последнего валдайского оледенения. Возраст озера может достигать 130 тысяч лет, что ставит его в один ряд с наиболее древними озерами центра Восточно-Европейской равнины – Плещеево, Неро и Галичское.

Изучено строение рельефа дна и толщи донных отложений Чухломского озера. Проведено бурение донных отложений со льда при помощи поршневого бура Ливингстона. Создана модель глубин озера по результатам собственной батиметрической съемки при помощи двух эхолотов (двулучевой эхолот Deeper Pro+ и многолучевой эхолот Lowrance HDS-9 Live, совмещенный с локатором бокового обзора). Озерные осадки исследованы с применением комплекса методов – гранулометрический анализ, оценка содержания органического и карбонатного вещества при помощи измерения потерь при прокаливании, измерение магнитной восприимчивости, исследование пыльцевых спектров, измерение содержания радиоизотопов ¹³⁷Cs и ²¹⁰Pb_{ex}, и датирование отложений методом ускорительной масс-спектрометрии по валовому углероду.

Участки повышенных глубин имеют вид двух ложбин, расходящихся от центра озера в сторону г. Чухломы. Максимальная глубина внутри ложбин (и для всего озера) составляет 5.4 м, средняя глубина озера – 2.4 м. Сопоставлено строение осадочной последовательности для двух скважин мощностью 9.45 и 7.45 м на участке фоновых глубин и внутри ложбины, соответственно. Установлено, что мощность голоценовых отложений внутри ложбины (1.45 м) заметно сокращена по сравнению с их мощностью на поверхности фоновых глубин (3.8 м). Глубинно-возрастная модель выявила два эпизода эрозионного размыва отложений, произошедших в голоцене (10.6–5.3 и 4.9–0.06 кал. тыс. лет назад).

Вероятным механизмом происхождения ложбин являлась локализованная эрозия, вызванная ветровыми течениями в условиях крайне мелководного озера. Дополнительным фактором эрозии могла выступать дегазация донных отложений, приводящая к разрыхлению придонного слоя осадков. Предполагается, что строительство плотины на р. Вексе-Чухломской (уровень озера был поднят на 1.0–1.5 м в 1960-х гг.) остановило процесс придонной эрозии в центральной части озера (по данным содержания ^{137}Cs).

Работа выполнена в рамках Мегагранта (соглашение № 075-15-2021-599 от 08.06.2021) “Палеоэкологические реконструкции как ключ к пониманию прошлых, текущих и будущих изменений климата и окружающей среды в России” (бурение донных отложений и обследование берегов), государственного задания Института Географии РАН (батиметрия, датирование, исследование изотопов) и проекта Российского Научного Фонда № 23-77-10063 (лабораторно-аналитические исследования).

Новые данные по стратиграфии разреза «Ленэнерго» в связи с историей Ладужской трансгрессии

Фоменко А.П.^{1,2*}, Савельева Л.А.³

¹ *Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, г. Санкт-Петербург*

² *Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург*

³ *Институт наук о Земле СПбГУ, г. Санкт-Петербург*

* e-mail: fomenko.antonina@gmail.com

Впервые разрез близ пос. Ленэнерго был описан Г.Н. Лисицыной [1]. Впоследствии разрез неоднократно изучался в связи с историей Ладужской трансгрессии такими исследователями, как И.В. Делюсина [2], Д.Б. Малаховский [3], Б.И. Кошечкин и И.М. Экман [4], М.В. Шитов [5]. Делюсиной И.В. [2] выполнен спорово-пыльцевой анализ. В этих материалах приведен радиоуглеродный возраст гиттии₇ – 5490±40 л. н. (6290±50 кал. л.). Из вышележащих отложений Ладужской трансгрессии получен радиоуглеродный возраст прослая песка с аллохтонным торфом (2810±30 л. н. (2910±40 кал. л.)) [3] и плавника (2980±80 л. н. (3150±110 кал. л.)) [4].

В ходе полевых работ 2019 г. разрез мощностью 114 см (60°27'45.4" с. ш., 33°11'33.3" в. д.) на левом берегу р. Оять близ дер. Оятский участок (в прошлом – Ленэнерго) был изучен вновь. Из разреза было отобрано 50 образцов на спорово-пыльцевой анализ с интервалом отбора через каждые 2 см, а также 6 образцов на радиоуглеродное датирование. Калиброванный возраст получен на основе калибровочной программы «OxCal 4.4» (калибровочная кривая «IntCal20»). Все

исследования выполнены в лаборатории «Геоморфологических и палеогеографических исследований полярных стран и Мирового океана им. В.П. Кеппена» Института наук о Земле СПбГУ.

Согласно результатам спорово-пыльцевого анализа, выделено 6 пыльцевых зон, отражающих этапы развития растительности в юго-восточном Приладожье в интервале от 8900±150 л. н. (9960±210 кал. л.) до 3530±80 л. н. (3810±110 кал. л.). Полученные результаты подтвердили атлантико-суббореальный возраст гиттии. Однако, было выявлено три перерыва в осадконакоплении, один из которых на рубеже бореального и атлантического периодов продолжительностью ~3500 лет. Детальный спорово-пыльцевой анализ позволил наиболее полно охарактеризовать спектры конца атлантического и суббореального периодов.

Литература

[1] Лисицына Г.Н. Вопросы палеогеографии неолита районов Северо-Запада СССР // Материалы и исследования по археологии. М.; Л, 1961. №87. С. 501–536.

[2] Delusin I. The Holocene pollen stratigraphy of Lake Ladoga and the vegetation history of its surroundings // *Annales academiae scientiarum Fennicae*, 1991. Ser. A. III. 153 S, 66 p.

[3] Малаховский Д.Б., Арсланов Х.А., Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н., Козырев М.Г. Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера. СПб.: РАН, РГО, 1993. С. 61–73.

[4] Кошечкин Б.И., Экман И.М. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера // Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера / Под ред. Н.Н. Давыдовой, Б.И. Кошечкина. СПб.: РГО РАН, 1993. С. 49–60.

[5] Шитов М.В. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера. Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб.: СПбГУ, 2007. 17 с.

Опыт гиперспектрального сканирования отложений озера Каспля (Смоленская область)

Шашерина Л.В.* , Константинов Е.А., Захаров А.Л., Александрин М.Ю.

Институт географии РАН, г. Москва

*e-mail: lida.sh.vs@gmail.com

Гиперспектральное сканирование кернов (ГСК) – неинвазивный метод получения информации о спектральных характеристиках отложений с субмиллиметровым разрешением. Это относительно новый метод, который в лимнологических исследованиях чаще всего применяется для изучения слоистых озёрных осадков. Характеристики спектра отраженного света, получаемые в результате

ГСК, косвенно отражают состав изучаемых озёрных отложений. Вариации спектральных характеристик по глубине могут указывать на палеоэкологические изменения водоёма. Статистическая обработка результатов ГСК позволяет в ряде случаев установить различные источники привноса материала, стратифицировать и классифицировать отложения.

В исследовании выполнено ГСК для осадков оз. Каспля (Смоленская область). Озеро Каспля – небольшое (площадь зеркала 3.2 км²), проточное озеро в 35 км к северо-западу от Смоленска. В наиболее глубоком месте озера были отобраны керны озёрных отложений для лабораторных исследований, общей мощностью 17.3 м. В интервале глубин 17.3–7.1 м обнаружена разнородная, в том числе ритмичная, слоистость. Особенно интересен интервал глубин 15.1–9.6 м, в котором слоистость, предположительно, приобретает годичный характер.

Установлено, что ритмичная слоистость в осадках Каспли представляет собой органогенно-хемогенные вырвы, образование которых связано с сезонной сменой озерной биоты. По предварительным оценкам формирование толщи варв пришлось на позднеледниковье и начало голоцена, что позволяет рассчитывать на исключительно высокое разрешение палеорекоконструкций для этого времени.

Для осадков в интервале 17.3–9.6 м ГСК выполнено в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне (VNIR диапазон 400–1000 нм) при помощи установки Specim FX10e. Методика сканирования включает зачистку и высушивание поверхности керна, сканирование с определенными настройками камеры и последующую цифровую обработку полученных гиперспектральных изображений. В ходе обработки построены тепловые карты и кривые вариаций спектральных характеристик. Далее керны апробированы на различные лабораторные анализы (определение потерь при прокаливании, гранулометрического состава, удельной магнитной восприимчивости). Таким образом, ГСК было встроено в стандартный набор лабораторных анализов озерных отложений и интерпретировано вместе с ними. Предварительно, ГСК донных осадков оз. Каспля позволило разделить разрез на невидимые глазом горизонты с различным содержанием органических пигментов, которые указывают на меняющуюся трофность и продуктивность водоёма.

Метод ГСК перспективен для решения большого круга задач варвохронологии, палеоэкологии, палеоклиматологии и палеогидрологии высокого разрешения, а также при изучении современных слоистых осадков водоёмов.

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 23-77-10063.

СЕКЦИЯ 5 – СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КРУПНЫХ ОЗЕРАХ

Кроноцкое озеро (полуостров Камчатка) – уникальная лаборатория эволюции: значимость для науки и основные черты термодинамического режима

Анисимова Л.А.* , Горин С.Л.

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва

*e-mail: anisimova@vniro.ru

Кроноцкое озеро – крупнейший пресный водоём (246 км²) и один из самых глубоких на Камчатке ($h_{\max}=136$ м, $h_{\text{ср}}=58$ м). Озеро образовалось более 11.7 тыс. лет назад из-за перекрытия долины пра-реки плотиной, сформированной материалом вулканических извержений. В результате этого события в озере изолировалось два вида рыб: мальма и нерка. За прошедшее время оба вида рыб диверсифицировались. В настоящий момент в озере описаны 7 форм гольцов и 2 формы озёрной нерки. Симпатрический пучок форм гольцов, образовавшийся в Кроноцком озере, самый большой из известных в мире, благодаря чему он представляет большой интерес для эволюционных исследований. Известно, что в процессе инициации, поддержания и развития симпатрического формообразования определяющую роль, наряду с биологией вида, играют факторы среды. В озёрах северных широт температура воды играет одну из ключевых ролей в формообразовании. В связи с этим, начиная с 2010 г. на Кроноцком озере проводятся экосистемные исследования (ихтиологические, гидробиологические, гидрометеорологические и др.). Одним из важных итогов работы стало получение представления о гидрологическом режиме водоема, в первую очередь о его термодинамике.

По термодинамическому режиму Кроноцкое озеро относится к димиктическим водоёмам умеренной зоны. Озеро освобождается ото льда в начале июня, вслед за этим наступает период весенней гомотермии, который длится около двух недель. В это время озеро полностью перемешивается и насыщается кислородом. В первой половине июля устанавливается прямая температурная стратификация. К середине месяца на озере формируются максимальные пространственные различия по температуре поверхностного слоя ($\Delta t > 9^{\circ}\text{C}$). А к концу августа температура поверхностного слоя выравнивается по площади, достигая своего годового максимума (14–15^oC). В это время наблюдаются максимальные вертикальные градиенты температуры ($\Delta t > 9^{\circ}\text{C}$). В

сентябре озеро остывает и уже к середине октября температура его поверхности падает до 5–7°C. Во второй половине октября – начале ноября на озере наступает осенняя гомотермия, которая длится около месяца. В ноябре–декабре на озере формируется обратная температурная стратификация. В конце декабря – начале января озеро покрывается льдом.

Главными факторами, определяющими термический и связанный с ним динамический режимы Кронецкого озера, являются морфометрия (в первую очередь, большая глубина); климат (низкая температура воздуха, сильный бризовый ветер, частые адвективные туманы со стороны Тихого океана); гидрология (преимущественно снеговое и подземное питание и рассредоточенный приток).

Несмотря на относительно небольшую площадь и правильную форму котловины, в озере выделяется несколько районов с существенными термодинамическими отличиями. Это создаёт разнообразие условий обитания для водных организмов, определяет видовой состав ихтиофауны, а также её вертикальную и горизонтальную дифференциацию. Характерной особенностью Кронецкого озера является наличие холодного, хорошо перемешанного и насыщенного кислородом гипolimниона, что благоприятно для придонных рыб. Потепление климата в последние десятилетия повлияло на термодинамические характеристики озера, но при этом пока сохранилась основа его гидрологической структуры – холодный гипolimнион.

Эффективность перемешивания мелководного озера при поверхностном выхолаживании

Богданов С.Р.^{1*}, Кузнецов П.С.², Новикова Ю.С.¹, Максимов И.А.³, Здоровеннов Р.Э.¹, Пальшин Н.И.¹, Здоровеннова Г.Э.¹, Ефремова Т.В.¹, Смирнов С.И.¹

¹ *Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск*

² *Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск*

³ *Московский энергетический институт, г. Москва*

* e-mail: Sergey.R.Bogdanov@mail.ru

Изучение перемешивания водных масс озер остается весьма актуальной задачей, как в контексте фундаментальных проблем описания турбулентности в стратифицированных средах, так и в отношении изучения термического и кислородного циклов. Ключевым параметром является эффективность перемешивания, т.е. та доля поступающей извне энергии, которая не диссипируется, а расходуется непосредственно на трансформацию неоднородных профилей плотности. Указанный параметр, в частности, используется при расчете коэффициента вертикальной турбулентной диффузии по соотношению Осборна.

Индикатором перемешивания на молекулярном уровне служит прирост базовой потенциальной энергии. Для расчета этой величины используются различные подходы и методы, оценки эффективности которых варьируются в широком диапазоне, и зависят от механизма, порождающего неустойчивость, состояния водной массы, характера турбулентности. При этом остаются открытыми вопросы об универсальности оценок и степени их общности.

Радиационный механизм перемешивания наименее исследован, что связано, в частности, со сложностью выделения его вклада в общий процесс перемешивания. Указанную трудность во многом удалось преодолеть за счет выбора объекта исследования – небольшого глубокого лесного озера, для которого перемешивание в летний период в основном определяется поверхностным выхолаживанием.

Расчет эффективности осуществлялся в рамках интегрального энергетического метода, с использованием высокочувствительных (с точностью 0.002°C) датчиков температуры, расположенных на термокосе, с весьма высокой ($0.25\text{--}0.50\text{ м}$) вертикальной дискретностью. Измерения были проведены в течение трех летних сезонов (2021–2023 гг.). Эпизоды перемешивания идентифицировались как интервалы времени, в течение которых средняя температура водной толщи уменьшалась. Для каждого из нескольких десятков выделенных эпизодов были рассчитаны изменения доступной и базовой потенциальной энергий, а также среднего по перемешанному слою потока плавучести. К особенностям проведенного расчета следует отнести учет сжимаемости жидкости при рассмотрении энергетического баланса и потоков энергии между различными энергетическими «резервуарами». Для некоторых эпизодов была осуществлена верификация результатов на основе непосредственного расчета скорости диссипации кинетической энергии, по данным акустических доплеровских профилографов.

Рассчитанные значения эффективности варьируются в широком диапазоне, но при этом средние значения (от 0.4 до 0.6 для разных сезонов) существенно превышают общепринятые оценки (~ 0.17), характерные, например, для ветрового перемешивания. Обнаружена также отрицательная корреляция между эффективностью и толщиной перемешанного слоя. При этом сам факт указанной корреляции подтверждает гипотезу о том, что значение эффективности определяется не только характером турбулентности в зонах активного перемешивания, но также видом профиля температуры в областях, удаленных от этих областей.

Гидрологический режим глубоководной части Бурейского водохранилища: холодный гипolimнион как его главное проявление и основа

Горин С.Л.^{1,2*}, Терский П.Н.², Агафонова С.А.², Репина И.А.²

¹ *Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва*

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

*e-mail: gorinser@mail.ru

Бурейское вдхр. находится на Дальнем Востоке России; в бассейне р. Амур. Оно исследуется в рамках масштабного проекта по оценке эмиссии парниковых газов с больших водохранилищ России [1]. В настоящей работе представлены сведения, касающиеся термодинамики глубоководной части Бурейского вдхр. Особую ценность им придает тот факт, что они получены впервые – ранее о гидрологическом режиме Бурейского вдхр. ничего не было известно.

Работа основана на архивных и собственных материалах. Все измерения проводились на «стандартной» вертикали в верхнем бьефе плотины. Архивные данные содержат ежедекадные измерения температуры воды за 2012–2017 гг. (с перерывами), выполненные Ленгидропроектом. Собственные материалы включают измерения температуры, электропроводности и растворенного кислорода, собранные в 6 экспедициях 2021–2023 гг., а также длительные измерения температуры воды с помощью автономных датчиков (от 3 до 8 горизонтов, с марта по август 2023 г.).

Бурейское вдхр. молодое: его наполнение происходило с 2003 г. по 2008–2009 гг. Оно осуществляет сезонное регулирование стока; используется для энергетики и борьбы с наводнениями в долине р. Амур. Водоохранилище состоит из пяти частей, три из которых – затопленные каньоны, а еще две – затопленные речные долины. Характеристики водохранилища при НПУ: объем – 20.9 км³ (в т.ч. полезный – 10.7 км³); площадь – 740 км²; длина – 236 км; ширина – в каньонах <1.0 км, а в котловинах до 5.0 км; средняя глубина – 28.2 м, максимальная глубина у плотины – до 130 м. Величина сезонных колебаний уровня – до 20 м (минимум уровня в конце апреля, максимум – в конце лета и осенью). Средний многолетний приток воды в водохранилище – 27.5 км³/год (870 м³/с). Водоохранилище находится в ультраконтинентальном климате с выраженной муссонностью: зима холодная и малоснежная, а лето теплое и с обильными дождями.

По особенностям термического режима в Бурейском вдхр. выделяется три слоя воды: поверхностный (0–25 м), промежуточный (25–60 м) и придонный (ниже 60 м). В водоеме преобладает сезонная изменчивость температуры воды (T). В поверхностном слое: прогревание ~4.5 мес. с середины апреля до второй половины августа; охлаждение ~4.5 мес. с конца августа до середины января; зимняя стагнация ~3 мес. с января по апрель; $T_{max}=23.9^{\circ}\text{C}$, а $T_{min}=0.1^{\circ}\text{C}$. В придонном слое: прогревание ~5.5 мес. с

конца мая по октябрь; охлаждение ~2 мес. с ноября до середины января; зимняя стагнация ~4.5 мес. с января по май; у дна $T_{max}=5.2$, а $T_{min}=3.6^{\circ}\text{C}$. Ледовые явления продолжаются с ноября по май, устойчивый ледостав держится с декабря по апрель.

Полное вертикальное перемешивание в водоеме происходит в течение 2–3 декады в ноябре и 1–2 декады на рубеже апреля и мая. При этом осенью температура воды выше температуры наибольшей плотности, а весной ниже нее, что обеспечивает продолжение конвективного перемешивания под слоем скачка при зимнем охлаждении и летнем прогревании. В гипolimнионе, благодаря его низкой температуре и большому объему, в течение всего года довольно много кислорода: у дна его концентрации даже в конце зимы и на исходе лета составляют 6–7 мг/л. Холодный гипolimнион – характерная гидрологическая черта Бурейского вдхр., яркое проявление его термодинамики и важный фактор, влияющий на всю экосистему.

Литература

[1] Репина И.А. и др. Натурные измерения эмиссии метана на крупнейших водохранилищах России в 2021 г. Начало масштабных исследований // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 6. С. 713–718.

Применение метода МСС для оценки течений на поверхности крупных внутренних акваторий

Гузиватый В.В. *, Науменко М.А. **

Институт озераедения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

* e-mail: guzivaty@gmail.com

** e-mail: m.a.naumenko@mail.ru

Крупномасштабные измерения скорости и направления течений на поверхности морей и крупных озер могут быть проведены либо с использованием специализированных полигонов, состоящих из буйковых станций, либо с использованием автономных дрейфующих буев со спутниковыми системами определения их координат и передачи данных, что требует значительных ресурсов. Для оценки системы поверхностных течений на значительных площадях крайне полезен метод, использующий последовательные ИК-съёмки акваторий морей, предложенный Эмери в 1986 г. На английском языке метод назван методом максимальной-кроскорреляции (МСС). Впервые этот метод был использован для Ладожского озера в 2021 г. В докладе обсуждаются методические аспекты применения и ограничения метода МСС для крупных акваторий. Предложенные для Ладожского озера процедуры выбора и анализа космической информации и наиболее благоприятных метеорологических условий, показали свою эффективность при применении метода

МСС для акваторий, имеющих существенные различия в размерах. Методом максимальной кросс-корреляции проведены оценки поверхностных течений для крупных внутренних акваторий европейской части Российской Федерации, включая Ладожское и Онежское озера, Белое, Балтийское, Черное и Каспийское моря. Выявлен период, в которых метод МСС для этих акваторий наиболее результативен. Показано существенное различие в поле ветра и индуцируемых им течений для малых и больших акваторий. Метод позволяет оценить динамику вод синоптических масштабов в морях и в крупных озёрах. Он прошел апробацию для различных термических условий, показана его перспективность в условиях отсутствия *in situ* измерений течений.

Межсезонный гидрологический режим приморских искусственных водоёмов западного побережья Калининградской области

Домнин Д.А.

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

e-mail: dimanisha@gmail.com

На западном побережье Калининградской области расположены четыре обводнённых карьера, образовавшихся на месте добычи янтаря: пруд Янтарный и три отчленённых пляжевых лагуны. В связи с их близким приморским положением, значительными глубинами, находящиеся ниже уровня моря, и наблюдениям за гидрологическими характеристиками в разные сезоны года, предполагают существование взаимосвязи водоёмов как между собой, так и с морскими водами, через поверхностный сток и подземные водоносные горизонты [1].

Рассматривая изменение температуры в отчленённых пляжевых лагунах, отмечается, что в холодный период термоклин отсутствует, температура не превышает +2°C, стратификация начинает формироваться в апреле. Летом вода на поверхности прогревается до +22°C, на глубине не превышает +9°C, но выраженного термоклина не формируется. В октябре вода перемешана, а значения температуры составляют около +12°C, в декабре – +2.5°C. Значения минерализации в лагунах отличаются – минимальные значения в 0.5 ‰ характерны для южной, а центральная и северная лагуны более солоноватые – от 1.8 до 4.0 ‰.

В пруду Янтарном, благодаря значительной глубине (до 23 м) в тёплый период существует стратификация, наблюдается термоклин. В летний период температура поверхности поднимается до +22°C, а термоклин толщиной в 1 м, начинается с отметки –8 м. При этом, для всего водоёма характерна горизонтальная однородность температурного поля. В марте температура воды по всей толщине составляет +2.5°C.

Минерализация водоёма постоянна и составляет 0.51 ‰ с локальными повышениями до 0.75 ‰ [2], что отличает пруд от других водных объектов [3], а

высокие значения в пруду фиксировались и ранее [4]. Повышенные значения в одном из понижений указывают на наличие источника, например, проникновение морских вод или локализацию минерализованных пород.

Отличием пруда являются высокие значения растворённого в воде кислорода. Здесь, также как и в пляжевых лагунах, в приповерхностном слое его количество составляет около 9 мг/л, а с глубиной увеличивается до 15 мг/л. Причинами таких высоких концентраций могут быть, как присутствие внешних источников, так и наличие в воде производящих кислород микроорганизмов и макрофитов.

Литература

- [1] Фролов А.П., Юшманов И.Ю. Взаимодействие пресных подземных вод суши с морскими водами на побережье Балтийского моря // Вод. рес. 1998. Т.25. №1. С.5–8.
- [2] Домнин Д.А., Михневич Г.С., Вершинин Д.С., Карманов К.В., Гмыря Е.И. Условия взаимодействия морских и пресных вод в системе прибрежных обводненных карьеров Юго-восточной Балтики // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2023. Т. 165, кн. 3. С. 467–485. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.467-485>.
- [3] Домнин Д.А., Пилипчук В.А., Карманов К.В. Формирование затока солоноватых вод в лагунно-эстуарной системе водосборного бассейна Вислинского залива и реки Преголи в результате сгонно-нагонных явлений // Естественные и технические науки. 2013. №6. С. 206–211
- [4] Цупикова Н.А., Моисеенко В.В. Оценка возможности организации рыбоводного хозяйства на базе пруда Янтарный (Калининградская область) // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. 2017. № 7 (19). С. 1–10

Влияние изменений климата на термический и ледовый режим озер Карелии по данным многолетних наблюдений (1950–2021 годах)

Ефремова Т.В.^{1*}, Пальшин Н.И.¹, Кравченкова Т.Г.², Здоровеннов Р.Э.¹,
Здоровеннова Г.Э.¹, Богданов С.Р.¹, Смирнов С.И.¹

¹ *Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск*

² *Карельский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал ФГБУ «Северо-Западное УГМС», г. Петрозаводск*

* e-mail: efremova@nwpi.krc.karelia.ru

Одной из актуальных задач современной лимнологии является выявление закономерностей реакции водоемов на глобальные и региональные изменения климата. Характеристика термического и ледового режима разнотипных озер Карелии основана на статистической обработке и анализе данных многолетних наблюдений Карельского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за 1950–2021 гг.

Исследуемые озера расположены в северной, центральной и южной Карелии от 61° до 66° с. ш. и от 31° до 37° в. д. Озера разнообразны по своим морфометрическим характеристикам. В выборку входят крупнейшие озера Европы – Ладожское и Онежское, большие по площади озера ($> 800 \text{ км}^2$) – Сегозеро, Топозеро, Выгозеро, средние озера ($60\text{--}320 \text{ км}^2$) – Сямозеро, Водлозеро, Ведлозеро и малые озера ($< 15 \text{ км}^2$) – Ругозеро, Тулмозеро.

Для оценки связи ледовой фенологии и температуры поверхности воды с температурой воздуха для каждого озера подбиралась ближайшая репрезентативная метеостанция. Проведенный анализ данных наблюдений приземной температуры воздуха позволяет сделать вывод о сохраняющемся устойчивом потеплении регионального климата Карелии во все сезоны года. Скорость роста среднегодовой температуры в 1976–2021 гг. составляла на рассматриваемых станциях $+0.56\text{--}0.61^\circ\text{C}/10$ лет. Наиболее выраженное потепление наблюдалось в зимний сезон, скорость роста в который составляла $+0.8\text{--}1.0^\circ\text{C}/10$ лет. В последнее десятилетие темпы повышения температуры воздуха в весенний период уменьшились, но возросли в летний и осенний периоды.

Анализ временных рядов исследуемых озер Карелии показал, что период 1950–2021 гг. характеризовался смещением сроков замерзания всех озер к более поздним датам со скоростью $+1.3\text{--}4.1$ суток/10 лет, а сроков очищения ото льда к ранним датам со скоростью $-1.1\text{--}2.0$ суток/10 лет. За последние 10 лет продолжительность периода ледостава на озерах сократилась в среднем на 18–23 суток, а для Онежского и Сегозера – более 30 суток по сравнению со среднемноголетними значениями. Все тренды значимы ($p < 0.05$), не значим тренд только для образования ледового покрова в северном оз. Топозеро.

Во всех озерах наблюдались тенденции повышения температуры поверхностного слоя воды в безледоставный период (май–октябрь). Значения скорости роста температуры поверхности воды составляли за исследуемый период $+0.3\text{--}0.4^\circ\text{C}/10$ лет. Тренды статистически значимы на уровне $p < 0.01$. Максимальные значения средней летней температуры поверхностного слоя воды отмечены в рекордно жаркие 2010 г. и 2021 г.

В целом, анализ долгосрочных наблюдений показал, что в результате глобального потепления климата сокращается период ледостава, увеличивается период стратификации, растет температура поверхностного слоя воды. Эти процессы наиболее сильно проявляются в 2000-е годы в крупных глубоководных водоемах (Ладожском, Онежском, Сегозере).

Параметры устойчивости водной толщи небольшого полимиктического озера в разные по погодным условиям годы

Здоровеннова Г.Э.^{1*}, Смирнов С.И.¹, Богданов С.Р.¹, Новикова Ю.С.¹,
Здоровеннов Р.Э.¹, Пальшин Н.И.¹, Ефремова Т.В.¹, Смирновский А.А.²

¹ *Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск,*

² *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург*

*e-mail: zdorovennova@gmail.com

Режим перемешивания играет важную роль в функционировании водных экосистем, влияет на термический и кислородный режимы озер. Актуальной задачей становится изучение изменений режима перемешивания озер под влиянием наблюдаемой климатической изменчивости. Выявлены изменения в режиме перемешивания озер на фоне наблюдаемых и прогнозируемых изменений климата [1–3].

Исследуется устойчивость водной толщи небольшого озера Вендюрское, расположенного в южной части Карелии. Измерения проведены в период с мая по октябрь в 2008–2013 и 2015–2022 гг. В годы измерений погодные условия заметно отличались. По данным метеостанции Петрозаводск оценено изменение ветрового режима южной Карелии за 2008–2022 гг., а также проанализировано изменение температуры воздуха. В центральной части озера Вендюрского была установлена термокоса с датчиками температуры RBR Ltd. (точность 0.002°C), расстояние между датчиками по вертикали составляло 0.5–1.5 м. По данным термокосы проведены оценки параметров, характеризующих режим перемешивания в озере. Определена продолжительность стратификации и оценена устойчивость водной толщи по следующим показателям: разница температуры по водному столбу в 1 и 2°C, пороговые значения устойчивости Шмидта ($St=5, 10, 20, 30$ Дж/м²), числа Веддерберна ($W=3, 10$) и озерного числа (Lake Number, $Ln=1$) [4]. Для исследования роли радиационного перемешивания в ослаблении устойчивости водной толщи озера проанализирована сезонная и межгодовая изменчивость разности температур верхнего слоя воды озера и воздуха. Проведен анализ функции плотности распределения этого параметра и рассчитаны ее основные характеристики. Показано, что, несмотря на продолжающееся региональное потепление и рост температуры воздуха и верхнего слоя воды озера Вендюрского, усиления устойчивости в период 2008–2022 гг. не произошло. Сдерживающими факторами могут быть усиление конвективного перемешивания за счет радиационного выхолаживания, а также рост ветровой нагрузки на водоем.

Литература

[1] Kirillin G. Modelling the impact of global warming on water temperature and seasonal mixing regimes in small temperate lakes // *Bor. Environ. Res.* 2010. Vol. 15. P. 279–293.

[2] Piccioni F., Casenave C., Lemaire B.J. et al. The thermal response of small and shallow lakes to climate change: new insights from 3D hindcast modelling // Earth Syst. Dynam. 2021. Vol. 12. P. 439–456.

[3] Råman Vinnå L., Medhaug I., Schmid M., Bouffard D. The vulnerability of lakes to climate change along an altitudinal gradient // Commun. Earth Environ. 2021. Vol. 2, No. 35. Sn. 2662-4435.

[4] Read J.S., Hamilton D.P., Jones I.D. et al. Derivation of lake mixing and stratification indices from high-resolution lake buoy data // Environmental Modelling & Software. 2011. Vol. 26. P. 1325–1336.

Межгодовое изменение сезонной средней температуры поверхности воды по спутниковым данным

Каретников С.Г.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: sergeyka55@mail.ru

Данные со спутников серии NOAA и MODIS, полученные в безоблачные для Ладожского озера дни, позволили определить средние значения температуры поверхности воды за сезон открытой воды. Начиная с 2000 г. по настоящее время были подсчитаны суммы температур поверхности воды выше 5°C, как площадь под кривой сезонного хода температуры поверхности воды озера. Выделяя из тепловых спутниковых снимков прибрежную зону до глубин 15 м для периода начиная с 2010 г., были рассчитаны средние температуры этой зоны. Водная толща прибрежной зоны с глубинами меньше 15 м хорошо перемешивается ветром, и температура поверхности равняется средней температуре водной массы этой зоны. Суммы температур поверхности прибрежной зоны выше 10°C рассчитывались аналогично суммам температур всего озера.

Проведенное исследование межгодовых изменений сезонной средней температуры поверхности воды всего озера и его прибрежной части показали, что на рассматриваемом временном отрезке не наблюдается значимого тренда исследуемых величин. Существующие колебания рассматриваемых величин соответствуют колебаниям сумм среднесуточных температур воздуха, накопленным за теплый период года.

Водный баланс озёр Москвы в меняющихся ландшафтных условиях

Пилипенко К.А.* , Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терёшина М.А.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

*e-mail: kristina.a.pilipenko@yandex.ru

В современных условиях гидроэкологический режим городских водоёмов помимо глобальных изменений климата подвержен воздействию и других факторов, связанных с продолжающейся урбанизацией. Происходят изменения структуры водного баланса из-за увеличения площади непроницаемых поверхностей, развития коллекторно-дренажных сетей и активного строительства, которое нарушает условия подземного питания. Термический режим городских озёр трансформируется под воздействием локального городского острова тепла, что сказывается на ключевой расходной составляющей водного баланса – испарении. Всё это может приводить к необратимым изменениям уровня режима водоёма, их трофического статуса и, в конечном счёте, к деградации водного объекта и его экосистемы.

Единственные на сегодняшний день естественные водоёмы Московской агломерации – это Косинские озёра (Чёрное, Белое и Святое), расположенные к востоку от МКАД. За исторический период площадь их водосбора подвергалась значительной трансформации, особенно со второй половины XX в., когда территория вокруг Косинских озёр вошла в состав города и начала активно застраиваться, что в свою очередь привело к изменениям элементов водного и теплового балансов.

Целью настоящей работы является анализ структуры водного баланса Косинских озёр в современных климатических и ландшафтных условиях. Материалами для анализа послужили результаты трехлетнего цикла гидрометеорологических наблюдений на озёрах (с 2021 по 2023 гг.), включавших наблюдения за уровнем воды в озёрах, эпизодические измерения руслового притока и стока из них, а также измерения температуры водной поверхности (для оценки испарения) на рейдовых станциях в центральных глубоководных частях озёр при помощи автоматических логгеров температуры с дискретностью 10 минут в течение безлёдного периода и в ходе рейдовых наблюдений ежемесячно круглый год. В балансовых расчётах использованы метеоданные ближайших опорных станций Росгидромета (ВДНХ и Балчуг), а также данные метеостанции, установленной на западном берегу Белого озера.

Доля атмосферных осадков, традиционно признаваемых ключевой приходной составляющей водного баланса Косинских озёр, составляла в безлёдный период 71–75 % для системы озёр Чёрное-Белое и 42–43 % для оз. Святого. На поверхностный приток приходилось соответственно 25–29 % и 57–58 %. Ключевой расходной составляющей водного баланса системы Чёрного и Белого озёр является испарение, на его долю приходилось от 26–28 % весной до 100 % с середины лета до осени. Доля поверхностного стока из оз. Белого соразмерно снижалась с 72 % до 0 %, в среднем за

расчётный период составила 24–36 %. В расходной части баланса оз. Святого 100 % составляет испарение.

Единственный приток Косинских озёр – Косинский ручей, впадающий с севера в озеро Чёрное – в современных условиях характеризуется крайне низким стоком лишь в непродолжительные многоводные периоды (половодье и паводки), поскольку сток с большей части его водосбора перехватывается коллекторно-дренажной сетью. Поверхностный сток из оз. Белого возможен лишь при высоком уровне весной и в начале лета. Каналы, по которым в XX в. осуществлялся сток из южной части озера Чёрного и восточной части озера Святого, в настоящее время не функционируют. В связи со строительными работами и откачкой грунтовых вод на водосборе в озёрах Чёрном и Белом в 2023 г. (а ранее и в озере Святом) наблюдалось резкое снижение уровня воды (на 1 м и более по сравнению с прежним равновесным уровнем).

Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект № 23-Ш07-67.

Прошлое, настоящее и будущее уровня режима больших озёр России

Шмакова М.В.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: m-shmakova@yandex.ru

Климат северо-запада РФ характеризуется частой сменой воздушных масс, формирующихся преимущественно над Атлантикой и Арктикой. Направленные изменения водного режима водоемов являются индикатором текущих климатических изменений. Такие показатели водного режима как внутригодовая и многолетняя динамика уровня воды, определяют результирующий водный баланс. Ладожское, Онежское, Чудско-Псковское озера – самые большие водоемы северо-запада РФ, принадлежат водосбору Финского залива Балтийского моря. Географически озера имеют последовательное широтно-долготное расположение. Климат территории, где расположены исследуемые водоемы, изменяется от умеренно-морского до умеренно-континентального. Озера характеризуются устойчивым ледоставом в зимний период, водный режим определяется характерным для исследуемого региона подъемом уровня в период активного снеготаяния и интенсивных осадков. Удельные водосборы Онежского и Чудско-Псковского озёр составляют около 5.5, что характеризует питание этих озёр преимущественно атмосферными осадками. Величина удельного водосбора Ладоги, равная 14.5 (11.6 без водосбора Онеги), является средней и показывает значимость не только атмосферного, но и водосборного питания водоема. Исследуемые водные

объекты представляют собой достаточно устойчивые природные системы. На региональном уровне глобальные климатические изменения могут быть не так заметны за счет локальных соотношений между метеорологическими величинами. Так, увеличение температуры воздуха на исследуемой территории в летний период приводит к увеличению испарения, что в той или иной степени компенсирует рост атмосферных осадков. Основное влияние климатические изменения оказали на внутригодичное распределение уровня воды всех трех исследуемых водоемов. Однако заметное увеличение температуры и осадков северо-западного региона не привели к значимым изменениям в среднегодовых уровнях воды Ладожского и Чудско-Псковского озер. Уровень Онежского озера повысился в сравнении с прошлым климатическим периодом на 10 %. Последнее может быть объяснено как влиянием Верхне-Свирской ГЭС, так и некоторым различием в климатических условиях формирования составляющих водного баланса. Для Онежского озера значительное влияние имеют воздушные массы, приносимые со стороны Белого моря. Тогда как Чудско-Псковское и Ладожское озера находятся под преимущественным влиянием западного переноса воздушных масс с Атлантического океана, которое особенно значимо в теплый период года. Это также объясняет и разнонаправленные тенденции среднегодовых уровней воды исследуемых озер за более чем 140-летний период.

Для оценки последствий возможных климатических изменений использованы два RCP-сценария, это RCP 2.6 и RCP 8.5 – лучший и худший с точки зрения воздействия на окружающую среду, соответственно. В результате моделирования получено, что к концу XXI в. среднегодовой сток с водосбора Онежского озера при реализации сценария RCP 8.5 увеличивается не более чем на 18 % относительно периода 2006–2015 гг. В тоже время сценарий RCP 2.6 дает снижение стока также на 18 %, так как здесь отмечается небольшое возрастание температуры воздуха, а осадки имеют отрицательный тренд.

СЕКЦИЯ 6 – МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОЗЕРАХ

О параметризации прозрачности воды в природных водоемах

Голосов С.Д.^{1*}, Зверев И.С.¹, **Тержевик А.Ю.**²

¹ *Институт озераведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург*

² *Институт водных проблем севера КарНЦ РАН, г. Петрозаводск*

*e-mail: sergey_golosov@mail.ru

Представлена новая параметризация, описывающая пространственно-временную изменчивость прозрачности воды, измеряемую диском Секки, в зависимости от интегральной биомассы фитопланктона и температуры верхнего слоя воды. Параметризация верифицирована по данным натурных наблюдений в разнотипных по своим физико-географическим и химико-биологическим характеристикам озерах – от глубоководных олиготрофных северных районов Ладожского озера до мелководного гиперэвтрофного Псковского озера. Результаты верификации свидетельствуют, что новое представление для прозрачности воды может использоваться при решении широкого круга как гидротермодинамических, так и гидробиологических задач. В частности, при моделировании термического режима водоемов параметризация может использоваться для оценки коэффициента экстинкции солнечного излучения. При разработке моделей функционирования водных экосистем новая параметризация может применяться для оценки толщины трофогенного слоя, а также при оценке первичной продукции фитопланктона.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 24-27-00067 «Методика дистанционной оценки характеристик неизученных озер зон многолетней мерзлоты с использованием спутниковой информации и математического моделирования»

Многолетние изменения экологического состояния стратифицированного водохранилища

Даценко Ю.С.* , Пуклаков В.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

*e-mail: yuri0548@mail.ru

Для изучения многолетних изменений характеристик экологического состояния типичного долинного стратифицированного в летний период подмосковного Можайского водохранилища использована математическая двумерная боксовая гидроэкологическая модель водохранилищ (ГЭМВ–МГУ). Она позволяет рассчитывать среднесуточные значения физических, химических и биологических характеристик состава воды в отдельных плесах водохранилища с учетом разнообразия погодных условий и изменений водного баланса. Неоднократная верификация модели по данным мониторинга Можайского водохранилища показала удовлетворительные результаты по критериям валидационных оценок адекватности модели [1].

В зависимости от особенностей процессов круговорота вещества и энергии, происходящих в водохранилище и на его водосборе под влиянием гидрометеорологических факторов и режима регулирования стока гидроузлом в разные годы, характеристики экосистемы водохранилища существенно колеблются. Для анализа многолетних тенденций показателей экологического состояния водохранилища расчетами сформированы массивы данных за 62 года эксплуатации водохранилища. С использованием этих баз данных получены следующие особенности и закономерности многолетних тенденций экологического состояния водохранилища:

1) Установлены среднемноголетние величины удерживающей способности водохранилища по показателям азота и фосфора, стойких и лабильных органических веществ, а также по железу и марганцу. Отмечено снижение удерживающей способности водохранилища в многолетнем аспекте;

2) Многолетние изменения продукционно-деструкционных процессов и характеристик цветения водоема показывают прогрессирующее эвтрофирование водохранилища, которое проявляется в тенденции увеличения объемов зон аноксии в водохранилище в период летней и зимней стратификации. Проанализированы главные факторы первичной продукции, среди которых выделены рассчитанные многолетние величины внешней и внутренней нагрузки водоема минеральными соединениями азота и фосфора;

3) Рассчитанные значения П/Б коэффициента для годовой первичной продукции Можайского водохранилища характеризуются многолетней тенденцией к снижению, что свидетельствует об уменьшении количества энергии, расходуемой на единицу биомассы по мере увеличения трофического состояния водохранилища.

Литература

[1] Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосквья (наблюдения, диагноз, прогноз). Москва: Перо; 2015. 286 с.

О вертикальной циркуляции водных масс в Ладожском озере (по результатам 3D моделирования)

Зверев И.С. *, Каретников С.Г., Голосов С.Д.

Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

* e-mail: iliazverev@mail.ru

Явления апвеллинга/даунвеллинга водных масс играют важную роль в формировании гидротермодинамического и химико-биологического режимов водоемов, в том числе и Ладожского озера. Традиционные температурные зондирования, выполняемые в ходе экспедиционных работ, дают весьма ограниченную информацию, поскольку не имеют возможности одномоментно описать полную пространственную картину процесса. Спутниковая информация лишена данного недостатка, однако ее использование позволяет описать только поверхностные проявления апвеллинга/даунвеллинга. Кроме того, ее доступность ограничена как техническими, так и метеорологическими условиями. В работе показано, что время возникновения и вырождения данных явлений, а также их пространственные параметры могут быть эффективно определены с использованием методов трехмерного математического моделирования.

Исследование среднемноголетней пространственно-временной динамики составляющих теплового баланса и температуры воды Рыбинского водохранилища с помощью двумерной математической модели

Подгорный К.А.

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), г. Калининград

e-mail: kapborok@mail.ru

Моделирование пространственно-временной динамики полей, составляющих теплового баланса, а также средней по вертикали температуры воды Рыбинского водохранилища проведено на основе двумерного уравнения теплопроводности. В этом уравнении эволюция температурного поля водоема определяется тремя основными

факторами: трансформацией поля температуры, обусловленной адвективным переносом тепла; турбулентной диффузией; процессами теплообмена между водоемом, атмосферой и деятельным слоем донных отложений.

Моделирование термического режима Рыбинского водохранилища проводили в два основных этапа. Сначала на заданном шаге по времени выполняли численное интегрирование системы уравнений гидродинамики. Затем на том же временном интервале интегрировали уравнение теплопроводности. При этом применяли схемы расщепления по физическим процессам и пространственным координатам.

Расчет полей течений, составляющих теплового баланса и температуры воды проводился на равномерной прямоугольной сетке размером 2000×2000 м. Временной шаг при численном интегрировании разностных уравнений составлял 60 с. Вычисления всех полей начинали от момента очищения Рыбинского водохранилища ото льда (26 апреля) и продолжали до 31 октября. При выполнении расчетов в соответствующих узлах расчетной сетки задавали расходы рек Волги, Мологи, Шексны и временной ход температуры воды. Изменение гидрометеорологической ситуации над водоемом происходило каждые сутки. Расчеты тепловых потоков в приводном слое атмосферы проводили на основе многолетних данных метеорологических наблюдений Рыбинской ГМО для условий равновесной стратификации приводного слоя воздуха. Тепловой поток на границе раздела вода – деятельный слой донных отложений вычисляли по данным натурных измерений температуры грунтов.

Данные моделирования пространственно-временной динамики составляющих теплового баланса и температуры воды хорошо согласуются с имеющимися наблюдениями и соответствуют всем основным известным представлениям о характере и темпах развития термических процессов в воде Рыбинского водохранилища. Модельные расчеты показали, что в структуре теплового баланса в период нагревания от 50 до 70% приходится на долю коротковолновой солнечной радиации. В осенние месяцы ее доля составляет 20–30%. Вклад затрат тепла на испарение в течение всего термического цикла является вторым по значимости. В течение расчетного периода он составляет от 20 до 30% в общем балансе. Доля эффективного излучения составляет в среднем от 10 до 25%. Его роль в весенний и осенний периоды несколько выше, чем в летние месяцы. Вклад турбулентного потока тепла в период нагревания, как правило, не превышает 10%. В осенние месяцы его значимость возрастает до 15%. Вклад затрат тепла на теплообмен с дном невелик и не превышает 5–7%.

Размах пространственных колебаний затрат тепла на испарение по акватории Рыбинского водохранилища в течение всего сезона меняется от 2 до 5 кал/(см²·час), а коэффициент вариации составляет в среднем 5–13%. Размах пространственных колебаний турбулентного потока тепла в период нагревания меняется от 0.5 до 2.5 кал/(см²·час), а в период осеннего охлаждения возрастает до 2–3 кал/(см²·час). Коэффициент пространственной вариации для турбулентного потока тепла составляет в среднем 5–20%. Наименьшая пространственная изменчивость характерна для

эффективного излучения водной поверхности. Размах колебаний для него – около 1.6 кал/(см²·час), а коэффициент пространственной вариации меняется от 1 до 4%.

Применение алгоритмов прямого поиска для оценки значений параметров в моделях экосистем Невской губы и Вислинского залива Балтийского моря

Подгорный К.А.^{1*}, Дмитриева О.А.^{1,2}, Семенова А.С.^{1,3}

¹ *Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), г. Калининград*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва*

³ *Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, пос. Борок (Ярославская обл.)*

*e-mail: kapborok@mail.ru

Разработка методов количественной оценки значений параметров математических моделей, которые используют при описании физико-химических и биологических процессов в водных экосистемах, является одной из наиболее трудных и принципиальных проблем математического моделирования. В современных моделях водных экосистем количество эмпирических параметров может достигать нескольких сотен. Поэтому решение задачи поиска наиболее оптимальных значений параметров (калибровки моделей) возможно только с помощью разных алгоритмов оптимизации.

В данной работе дана сравнительная оценка решения оптимизационной задачи для моделей экосистем Невской губы и Вислинского залива Балтийского моря. Обе модели построены на одних и тех же методологических принципах, но различаются структурой, количеством переменных и параметров. В качестве критерия адекватности моделей использован критерий Тейла. Решение оптимизационной задачи основано на использовании двухэтапного алгоритма прямого поиска. На первом этапе применяется алгоритм случайного поиска. На втором этапе выполняется локальный поиск, для чего используется модифицированный симплексный метод Нелдера-Мида.

Установлено, что предлагаемые алгоритмы поиска параметров для биогидрохимического блока имитационных моделей позволяют в целом успешно решать оптимизационную задачу даже в условиях недостаточного объема данных наблюдений и сравнительно высокой их дисперсии. Применяемые алгоритмы показали свою эффективность, обеспечили надежность и сходимость получаемых результатов.

Численные эксперименты с моделями позволили установить, что примерно в 8–15 % от всего исследованного набора эмпирических параметров имитационной модели экосистемы Вислинского залива межгодовые отличия значений параметров статистически достоверны или могут быть достоверными (в зависимости от выбора

уровня значимости). Поэтому при проведении сценарных расчетов и/или решении задач прогнозирования следует с большой осторожностью использовать одни и те же значения модельных параметров для разных лет. Аналогичный вывод получен и при исследовании свойств имитационной модели Невской губы Финского залива.

Для модели экосистемы Вислинского залива высокая чувствительность модели в разные годы была связана с одними и теми же группами параметров: коэффициентами смертности бентосных организмов; скоростями трансформации соединений биогенных элементов в донных отложениях (ДО); скоростями обменных процессов на границе раздела вода – ДО; коэффициентами в функциях температурной коррекции; скоростями седиментации взвесей и ресуспензии верхнего слоя ДО при разных ветровых условиях.

Для имитационной модели Невской губы было установлено, что более высокая чувствительность модели к изменению значений параметров в разные годы была связана с разными параметрами. Наиболее важными группами параметров являются параметры функций для температурной коррекции скоростей потребления веществ и коэффициенты, которые используются при расчете скоростей отмирания гидробионтов. Структура имитационной модели для Невской губы была гораздо более простой по сравнению с моделью экосистемы Вислинского залива. По всей видимости, группы «ведущих» параметров, которые наиболее сильно влияют на чувствительность модели, во многом зависят от структуры имитационной модели. Кроме того, параметрическая чувствительность модели может быть обусловлена межгодовыми изменениями условий функционирования экосистемы и последующими за этим перестройками ее структуры и перераспределениями потоков веществ внутри экосистемы.

Использование одномерной озерной модели для изучения водного и термического режима озер и водохранилищ Московской области

Терешина М.А. *, Ерина О.Н., Соколов Д.И.

МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

*e-mail: martereshina@yandex.ru

Водный и термический режимы озер и водохранилищ, включающие в себя динамику уровня воды и проточности, режим перемешивания, формирование термической структуры и режим формирования ледовых явлений и т.д., в годовом и многолетнем масштабе, являются важнейшими факторами, определяющими условия развития их экосистем. Процессы внешнего и внутреннего тепло- и массообмена влияют на условия обитания гидробионтов, интенсивность протекания биохимических процессов и газовый режим водоемов, в том числе, режим содержания растворенного кислорода и выделения парниковых газов. В связи с этим, изучение водного и термического режима водного объекта и его наблюдаемых и возможных изменений в

связи с изменениями климата является актуальной научной задачей, имеющей большое значение в контексте использования и охраны водных ресурсов. Важную роль в этом изучении играют математические модели, позволяющие получить непрерывные ряды требуемых характеристик гидрологического режима в реальных или прогнозируемых условиях. При этом одномерные модели (модели вертикального распределения) являются наиболее применимыми для большого спектра озер, так как не требуют большого объема натуральных данных и вычислительных мощностей, но ограничены невозможностью симуляции всех внутриводоемных процессов.

В настоящее время авторами накоплен массив данных как ручных, так и автоматизированных наблюдений за термической структурой различных водоемов Москвы и Московской области. Среди них наибольший объем данных получен для Можайского водохранилища (площадь зеркала при НПУ 30.7 км²) и озера Глубокое (0.59 км²). Можайское водохранилище имеет коэффициент водообмена около 1.8 год⁻¹, относится к мезотрофному (доходящий до эвтрофного) типу. Водоем имеет вытянутую форму, характерную для долинных водохранилищ, с максимальной глубиной около 20 м. Озеро Глубокое – слабопроточное, имеет статус от олиготрофного до мезотрофного, форма котловины простая с максимальной глубиной около 30 м. К обоим водоемам была адаптирована одномерная модель озерной гидродинамики GLM (General Lake Model) [1] для исследования ее применимости к водоемам с различным гидрологическим режимом.

Для оз. Глубокое была проведена попытка калибровки модели с использованием различных источников метеорологических данных в качестве модельного форсинга. Использование массивов данных без прямого задания приходящей солнечной радиации (только задание облачности) позволяет достичь ошибки расчета около 2°C, но использование данных реанализа отдельно или в совокупности с наземными измерениями снижает среднеквадратическую ошибку до 1–1.5°C в зависимости от выбранного набора калибровочных параметров. При этом показатель эффективности по Нэшу-Сатклиффу превышает 0.7 для всех горизонтов, приближаясь к 1 при расчете температуры поверхностного слоя, что говорит о высокой сходимости результатов моделирования с натурными данными. Для Можайского водохранилища удалось достичь ошибки расчета около 2°C, однако качество воспроизведения меняется от года к году – вероятно, из-за колебаний в режиме притока и сброса из водохранилища, и его биологической продуктивности, влияющей на прозрачность водной толщи для солнечного излучения.

Для обоих водоемов наличие ежедневных измерений, получаемых с помощью логгеров температуры воды, позволяет существенно снизить ошибку расчета и повысить качество моделирования за счет возможности подробно охватить изменения температурного профиля в синоптических масштабах, в особенности в ключевые для динамического режима периоды формирования и разрушения стратификация, а также в периоды интенсивного ветрового перемешивания.

Для озера Глубокого рассчитаны прогнозные изменения характеристик термического режима в соответствии со сценариями СМIP5. На основе модельных расчетов показано, что даже при наиболее жестком сокращении парниковых газов к концу столетия в озере могут быть отмечены статистически достоверные изменения термического режима, а в наиболее неблагоприятных сценариях могут быть достигнуты темпы потепления поверхностного слоя воды до 0.5°C/10 лет, двукратный рост устойчивости летней стратификации и увеличение ее продолжительности на месяц и более.

Литература

[1] Bruce L.C., Frassl M.A., Arhonditsis G.B., et al. A multi-lake comparative analysis of the General Lake Model (GLM): Stress-testing across a global observatory network // Environmental Modelling & Software. 2018. Vol. 102. P. 274-291.

Работа выполнена в рамках НИР кафедры гидрологии суши Географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Анализ, моделирование и прогнозирование изменений гидрологических систем, водных ресурсов и качества вод суши» (номер ЦИТИС 121051400038-1).

Вынос загрязняющих веществ с водосборов каскада Верхне-Волжских водохранилищ и его вклад в химический состав их водных ресурсов

**Ясинский С.В.^{1*}, Кашутина Е.А.¹, Расулова А.М.²,
Гришанцева Е.С.^{1,3}, Нарыков А.Н.¹**

¹Институт географии РАН, г. Москва

²Институт озероведения РАН – СПб ФИЦ РАН, г. Санкт-Петербург

³Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва

*e-mail: yasisergej@yandex.ru

Большая часть водных ресурсов бассейна Верхней Волги, используемых для водохозяйственных целей, приходится на водохранилища, при этом около 90 % суммарного объема воды находится в крупнейших из них – Рыбинском, Иваньковском, Угличском, Горьковском и Чебоксарском. В то же время, Верхне-Волжский регион испытывает сильную антропогенную нагрузку со стороны промышленности и сельского хозяйства. В связи с этим актуальность приобретает изучение роли выноса загрязняющих веществ с водосборов в формировании химического состава вод крупнейших Верхне-Волжских водохранилищ.

В докладе приведены модельные оценки объема выноса биогенных элементов (азота и фосфора), определяющих процесс антропогенного эвтрофирования водных объектов и поступающих с водосборов каскада Верхне-Волжских (Иваньковского, Угличского, Рыбинского, Горьковского и Чебоксарского) водохранилищ. Расчеты внешней биогенной нагрузки выполнены с использованием новой версии ландшафтно-гидрологической модели (ЛГМ-2) формирования биогенной нагрузки Института географии РАН. Вклад выноса с водосборов в биогенный баланс водоёма рассчитывается как отношение его величины к массе вещества в водохранилище. Оценка химического состава водных масс водохранилищ этого каскада получена по данным государственного водохозяйственного мониторинга водных ресурсов России за 2003–2022 гг. Пробы воды отбирались в основные сезоны 4 раза в год на нескольких вертикалях по длине водохранилищ (от 4 до 12 вертикалей). Запасы (массы) того или иного вещества в воде водохранилищ определяются как произведение концентрации вещества и объёма водохранилища на дату отбора пробы. В ходе выполнения исследования выявлены закономерности межгодовой и сезонной изменчивости биогенных элементов в каскаде Верхне-Волжских водохранилищ.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 22-17-00224 «Формирование гидролого-геохимических процессов на водосборах каскадов Верхне-Волжских и Камских водохранилищ при различных сценариях землепользования и изменениях климата на их территориях».

СОДЕРЖАНИЕ

Обращение коллектива Института озероведения РАН к участникам Всероссийской научной конференции «Лимнология в России».....	3
Пленарные доклады	
<i>Болотова Н.Л.</i> Роль Института озероведения в становлении лимнологических исследований в Вологодской области.....	5
<i>Брюханов А.Ю., Кондратьев С.А., Филатов Н.Н., Васильев Э.В., Обломкова Н.С.</i> Методика сбора исходных данных для оценки диффузного сельскохозяйственного загрязнения водных объектов (на примере водосбора Онежского озера).....	6
<i>Власов Б.П.</i> Современные исследования озер Беларуси, основные направления и результаты.....	8
<i>Кондратьев С.А., Зверев И.С., Голосов С.Д., Расулова А.М.</i> Дистанционная оценка характеристик неизученных озер арктической зоны Российской Федерации.....	9
<i>Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Аникина В.В., Явид Е.Я.</i> Перспективы внедрения альгицидов нового поколения в практику реабилитации и защиты водоемов от цианобактериального «цветения».....	10
<i>Науменко М.А., Гузиватый В.В., Каретников С.Г.</i> Термическая структура Ладожского озера под влиянием климатических изменений.....	11
<i>Поздняков Ш.Р.</i> Проблемы оценки характеристик наносов в современном озероведении.....	12
<i>Соломина О.Н.</i> Как менялись климат и ледники за последние 2 тыс. лет и как это отражается в озерных осадках.....	13
<i>Субетто Д.А., Сапелко Т.В., Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Белкина Н.А., Кублицкий Ю.А., Пестрякова Л.А., Rogozin Д.Ю., Рудая Н.А., Страховенко В.Д., Федотов А.П., Фролова Л.А.</i> Палеолимнологические исследования в России: история и современное развитие.....	15
<i>чл.-корр. РАН Филатов Н.Н.</i> Некоторые современные проблемы озероведения в России и пути их решения.....	16
Секция 1 – Общие проблемы лимнологии. Прикладные исследования	
<i>Банникова Ю.М.</i> Распределение водных и околоводных птиц на территории озера Имандра.....	19
<i>Вокуева С.И., Денисов Д.Б., Барина С.С.</i> Диатомовые комплексы в поверхностных донных отложениях озера Имандра (Мурманская область) как биоиндикаторы современных изменений экосистемы водоёма.....	20
<i>Глибко О.Я.</i> Теория и практика проведения рыбохозяйственной мелиорации на водных объектах Северо-Запада России.....	22
<i>Глызина О.Ю., Авезова Т.Н., Глызин Л.А., Яхненко В.М., Ицкович В.Б., Королёва А.Г., Кармаданова А.А., Суханова Л.В., Сапожникова Ю.П.</i> Использование экспериментальных многофункциональных пресноводных аквариумных установок как средство сохранения редких и исчезающих видов гидробионтов.....	23
<i>Дронь О.В., Шахвердов В.А.</i> Исследования выходов газа на дне озера Байкал.....	25
<i>Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Анохин В.М.</i> Применение дистанционных методов для изучения донных ландшафтов Ладожского озера.....	26
<i>Егоров А.Н., Космаков И.В.</i> Соленые озера в лимнологии.....	28

<i>Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И., Пуклаков В.В., Жихарев В.С., Воденеева Е.Л., Старцева Н.А.</i> Современное гидроэкологическое состояние водоемов Московского региона: результаты мониторинговых исследований Красновидовской станции.....	29
<i>Задереев Е.С.</i> Экосистемные услуги соленых озер: глобальный анализ в градиенте солености.....	30
<i>Заринова К.М., Тихонова Д.А.</i> Первые результаты исследований содержания микропластика в рыбе Ладожского озера.....	31
<i>Казакова Е.Ю., Семенова А.С.</i> Оценка качества воды и трофического статуса озера Виштынецкого по показателям фито- и зоопланктона в период с 2017 по 2023 годы.....	33
<i>Лапенков А.Е., Гузева А.В., Заринова К.М.</i> Влияние рыбоводства на окружающую среду: исследование донных отложений Ладожского озера.....	34
<i>Лопух П.С.</i> Проблемы разработки теории эволюции гидроэкосистем.....	35
<i>Митюков А.С.</i> Разработка методов переработки сапропеля и получение биологически активных препаратов для различных отраслей.....	36
<i>Рижинашвили А.Л.</i> Экосистемы малых озер Северо-Запада Европейской России и климат: история, современное состояние и перспективы исследования проблемы.....	38
<i>Рыбакин В.Н., Коровин А.Н., Капустина Л.Л., Станиславская Е.В., Дашевский В.П.</i> Опыт применения ультразвуковых устройств для борьбы с цианобактериальным цветением воды.....	39
<i>Сутурин А.Н.</i> Перспективы охраны экосистемы озера Байкал с учетом мирового опыта.....	40
<i>Тихонова Д.А., Каретников С.Г., Иванова Е.В.</i> Исследования содержания и вертикального распределения микропластика в водной толще Ладожского озера.....	41
<i>Шапоренко С.И., Абдурашидов А.М.</i> Туралинские озера Дагестана: история освоения, изучения и проблемы сохранения.....	43
Секция 2 – Гидробиологические и ихтиологические исследования озер	
<i>Барбашова М.А., Трифонова М.С., Курашов Е.А.</i> Оценка роли инвазивных амфипод в межгодовых изменениях сообществ макрозообентоса литоральной зоны Ладожского озера.....	45
<i>Беляков В.П.</i> Зообентос озерно-речных систем западного берега Ладожского озера.....	46
<i>Воденеева Е.Л., Шарагина Е.М., Кулизин П.В., Старцева Н.А., Журова Д.А., Соснина А.С., Гаврилко Д.Е., Жихарев В.С., Охупкин А.Г.</i> Состав и экология доминирующих видов фитопланктона уникальных карстовых озер Нижегородской области.....	48
<i>Воякина Е.Ю.</i> Фитопланктон водной системы Валаамского архипелага.....	49
<i>Гаврилко Д.Е., Золотарева Т.В., Жихарев В.С., Старцева Н.А., Воденеева Е.Л., Шурганова Г.В.</i> Структура сообществ зоопланктона солоновато-водного карстового озера Ключик (Нижегородская область).....	50
<i>Дворянкин Г.А.</i> Результаты инвентаризации ихтиофауны озер Соловецкого архипелага.....	52
<i>Джаяни Е.А.</i> Фитопланктон верхнего и нижнего участков Ириклинского водохранилища в условиях межгодовых колебаний погодных и гидрологических факторов.....	53
<i>Денисов Д.Б.</i> Основные итоги исследования альгоценозов озер Евро-	

Арктического Баренцева региона в последние десятилетия.....	55
<i>Жихарев В.С., Терешина М.А., Соколов Д.И., Ерина О.Н.</i> Структурная организация сообществ зоопланктона долинного Можайского водохранилища (Московская область).....	56
<i>Ивичева К.Н., Филоненко И.В.</i> Зообентос Белого озера (Вологодская область) в 2010–2020 годах.....	57
<i>Иофина И.В.</i> Роль водных грибов в экосистеме Ладожского озера.....	59
<i>Камардин Н.Н., Кузнецова Т.В., Манвелова А.Б.</i> О возможности мониторинга загрязнения пресноводных водоёмов Северо-Запада России с использованием нового биоиндикатора – переднежаберного моллюска <i>Viviparus viviparus</i>	60
<i>Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г.</i> Современное состояние бактериального сообщества Ладожского озера.....	61
<i>Коновалов Д.С.</i> Зоопланктон Кондопожского залива Онежского озера. Современное состояние и многолетние изменения.....	62
<i>Коровчинский Н.М., Бойкова О.С., Мнацаканова Е.А.</i> Многолетняя трансформация пелагического зоопланктона озера Глубокого (Московская область): тенденции последних лет.....	64
<i>Лапикова А.Т., Студёнова М.А.</i> Некоторые сведения о зообентосе озёрной системы острова Большой Соловецкий.....	65
<i>Лопатина Т.С., Задереев Е.С., Хорошко К.В., Оськина Н.А., Коновалова Д.А.</i> Экологические последствия флуктуаций солёности для реактивации и формирования банков покоящихся яиц в популяциях ветвистоусых ракообразных.....	66
<i>Максимов А.А., Березина Н.А.</i> Макрозообентос как показатель многолетних изменений в экосистемах двух субарктических озёр.....	68
<i>Мухин И.А., Мастаков И.А.</i> Разнообразие мшанок (Bryozoa) шхерного района Ладожского озера.....	69
<i>Намсараев З.Б., Комова А.В.</i> Микробные сообщества высокоминерализованных озёр Центральной Азии.....	70
<i>Наумова Е.Ю.</i> Изучение неоднородностей пространственного распределения зоопланктона.....	71
<i>Птицына Е.Д., Ерина О.Н., Воденеева Е.Л.</i> Сезонная изменчивость характеристик «цветения» воды на примере Можайского водохранилища.....	73
<i>Русанов А.Г., Газизова Т.Ю., Лапенков А.Е., Сапелко Т.В.</i> Изучение растительного покрова озёр Белое и Липовское (Кургальский полуостров, Ленинградская область).....	74
<i>Русанов А.Г., Гололобова М.А., Колобов М.Ю., Дулеба М., Георгиев А.А., Куш К.Т., Ач Е.</i> Новые находки редких видов <i>Fragilaria</i> (Fragilariaceae, Bacillariophyta) в Ладожском озере: морфология и распространение.....	76
<i>Скворцов В.В.</i> Количественная оценка величины продукции фитопланктона малых озёр с применением технологии искусственных нейронных сетей.....	77
<i>Собко Е.И., Климов С.И., Неверова Н.В.</i> Состав и структура зимних зоопланктонных сообществ разнотипных озёр Кенозерского национального парка (Архангельская область).....	79
<i>Станиславская Е.В.</i> Перифитон озерно-речных систем Северо-Западного округа.....	80
<i>Старцева Н.А., Гаврилко Д.Е., Жихарев В.С.</i> Оценка качества вод некоторых озёр г. Нижнего Новгорода с применением морфофункциональной классификации фитопланктона.....	81
<i>Трифорова М.С., Курашов Е.А., Барбашова М.А.</i> Состояние макрозообентоса.....	83

Щучьего залива Ладожского озера в 2019–2023 годах.....	
<i>Холмогорова Н.В., Чуйко Г.М.</i> Показатели состояния окислительного стресса (СОС) у пресноводных двустворчатых моллюсков сем. Unionidae и Dressenidae.....	84
<i>Холодкевич С.В., Адамович Б.В., Любимцев В.А., Хотянович Ю.Н., Чуйко Г.М.</i> Сравнительная оценка адаптационной способности моллюсков <i>Unio pictorum</i> Нарочанских озер (Республика Беларусь) с разным трофическим статусом.....	86
<i>Чуйко Г.М., Любимцев В.А., Холодкевич С.В., Сизов Н.С., Хотянович Ю.Н., Пьянзова Е.С., Димов Д.И.</i> Влияние голодания двустворчатых моллюсков на результаты оценки состояния окружающей среды методами биомаркирования.....	87
<i>Чуйко Г.М., Сизов Н.С., Шаров А.Н., Чернова Е.Н., Холмогорова Н.В.</i> Реакция показателей состояния окислительного стресса и кардиоактивности у дрейссены (<i>Dreissena bugensis</i> Andrusov, 1897) на присутствие цианобактерий и их токсинов в воде в условиях хронического природного эксперимента.....	89
<i>Шурганова Г.В., Гаврилко Д.Е., Жихарев В.С., Кудрин И.А., Золотарева Т.В.</i> Пространственно-временная динамика видовой структуры планктонных сообществ равнинного водохранилища.....	90
Секция 3 – Химия воды и донных отложений озер	
<i>Белкина Н.А.</i> Формирование донных отложений озер Карелии в современных условиях.....	92
<i>Бородулина Г.С., Токарев И.В.</i> Изотопный состав воды Онежского озера и природных вод его водосбора.....	93
<i>Вахрамеева Е.А., Жибарева Т.А.</i> Распределение гранулометрического состава и органического вещества донных отложений Кондопожского залива (Онежское озеро).....	95
<i>Гузева А.В.</i> Гуминовое вещество и процессы гумификации в донных отложениях озер полярных регионов.....	96
<i>Гусева М.А., Крылова В.Ю.</i> Карбонатная система воды Ладожского озера в условиях меняющегося климата.....	97
<i>Игнатьева Н.В.</i> Гидрохимическая характеристика водных систем западного Приладожья.....	98
<i>Кокрятская Н.М., Лосюк Г.Н., Краснова Е.Д.</i> Биогеохимия серы в экосистеме озера Могильное (остров Кильдин, Баренцево море). Результаты экспедиционных работ 2018–2019 годов.....	99
<i>Колпакова Е.С., Вельямидова А.В.</i> Хлорорганические соединения в озерных экосистемах на разной стадии отделения от Белого моря.....	101
<i>Кулик Н.В., Ефременко Н.А., Белкина Н.А., Страховенко В.Д., Гатальская Е.В., Малов В.И.</i> Особенности вещественного состава снежного покрова бассейна Онежского озера.....	102
<i>Кухарева Г.И.</i> Оловоорганические соединения в донных отложениях Ладожского озера.....	103
<i>Ларина Н.С., Канюкова А.М., Ларин С.И., Белоусова Ю.О.</i> Особенности распределения ртути в донных отложениях озер с различной степенью антропогенной нагрузки.....	105
<i>Петрова Т.Н., Гусева М.А., Крылова В.Ю.</i> Современный гидрохимический режим Ладожского озера как индикатор изменений в его экосистеме.....	106
<i>Полухин С.И., Ерина О.Н., Соколов Д.И., Терешина М.А.</i> Внутрисуточные колебания растворенного кислорода в водоемах Московского региона в 2020–	107

2022 годах.....	
<i>Слуковский З.И., Гузева А.В.</i> Геохимические особенности отложений озер острова Кинг-Джордж, Антарктика.....	109
<i>Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терёшина М.А.</i> Влияние Можайского водохранилища на вещественный сток реки Москвы.....	110
<i>Титова К.В., Жибарева Т.А., Кокрятская Н.М.</i> Оценка пригодности озера Святого (Архангельская область) для выращивания форели по гидрохимическим и геохимическим показателям.....	112
<i>Унковская Е.Н., Косова М.В., Шурмина Н.В., Мухаметзянова Ф.М., Игнатьев Ю.А.</i> Гидрохимическая характеристика разнотипных озер Волжско-Камского заповедника.....	113
<i>Чупакова А.А., Прилуцкая Н.С., Воробьева Т.Я., Климов С.И., Морева О.Ю., Прасолов С.Д.</i> Гидролого-гидрохимическая характеристика меромиктического озера Большого Соловецкого острова.....	115

Секция 4 – Палеолимнологические исследования

<i>Баженова О.И., Черкашина А.А.</i> Изменение палеоэкологии озер в степях Центральной Азии в голоцене.....	117
<i>Борисова О.К.</i> Особенности реконструкции состава растительности по данным палинологических исследований осадков малых озер в лесной и тундровой зонах.....	118
<i>Газизова Т.Ю., Сапелко Т.В.</i> Позднеголоценовые этапы развития озер на острове Валаам по данным пыльцы макрофитов.....	120
<i>Константинов Е.А., Карпухина Н.В., Самусь А.В., Бричева С.С., Рудинская А.И., Лазукова Л.И., Захаров А.Л., Украинцев В.Ю.</i> История озера Неро (Ярославская область) за последние 15 тысяч лет.....	121
<i>Косова А.Л., Денисов Д.Б.</i> Палеоэкологическое изучение донных осадков малых озер Имандровской депрессии по результатам диатомового анализа.....	122
<i>Кузнецов Д.Д.</i> Палеолимнологические исследования в Институте озероведения РАН последнего десятилетия – литостратиграфический аспект.....	123
<i>Кузьменкова Н.В., Рожкова А.К., Петров В.Г.</i> Осадконакопление в озере Ханка как реакция на изменение окружающей среды за последние 160 лет.....	124
<i>Лудикова А.В.</i> 60 лет изучения диатомовых водорослей в донных отложениях Ладожского озера.....	126
<i>Маркова А.К.</i> Эволюция средне- позднеплейстоценовых фаун мелких млекопитающих по материалам озер юго-запада Русской равнины.....	127
<i>Нестерова М.И., Трубицына Э.Д., Афонин А.С., Рябогина Н.Е.</i> Реконструкция ландшафтно-климатической и палеопожарной динамики Приишимья в Голоцене по материалам разреза озера Мергень.....	129
<i>Новенко Е.Ю.</i> Динамика растительности Средней Саксонии в голоцене: реконструкция по палинологическим данным озера Зальцигер.....	131
<i>Носова М.Б., Зарецкая Н.Е., Константинов Е.А., Захаров А.Н.</i> Малое озеро в краевой зоне Валдайского оледенения как источник высокоразрешающих данных о растительности голоцена.....	132
<i>Панин А.В., Сапелко Т.В., Лудикова А.В., Бронникова М.А., Карпова Ю.О., Успенская О.Н.</i> Новые данные о динамике природной среды северо-восточного Приаралья в позднем голоцене.....	134
<i>Пастухова Ю.А., Цыганов А.Н., Садоков Д.О., Мазей Н.Г., Мазей Ю.А.</i> Динамика тафоценоза кладоцер озера Змеиное (Вологодская область) в голоцене.....	135
<i>Пивовар А.В., Шаталова А.Е.</i> Использование метода георадарного сканирования	136

для реконструкции уровня Балтийского моря на примере озера Голубого (Карельский перешеек).....	
<i>Разумовский Л.В., Разумовский В.Л., Кушнарёва Т.Н., Анисимова А.В.</i>	
Реконструкция долговременных изменений в водохранилищах по затопленным на их территории озерам (на примере Иваньковского водохранилища).....	138
<i>Рудинская А.И., Дружинина О.А., Филиппова К.Г., Лазукова Л.И., Лаврова Н.Б., Жаров А.А., Сходнов И.Н., Бурко А.А.</i> Условия осадконакопления в палеоводоемах северной части Самбийского полуострова в беллинге-аллереде.....	139
<i>Рыбалко А.Е.</i> Морские геологи на Великих озерах (некоторые приложения морских геологосъемочных методов для решения палеогеографических задач развития озерных бассейнов по восточной периферии Балтийского кристаллического щита).....	140
<i>Сапелко Т.В.</i> Новые направления развития палеолимнологических исследований в Институте озероведения РАН.....	142
	142
<i>Севастьянов Д.В.</i> Лимнология горных регионов (История исследований горных озер в ИНОЗ РАН).....	143
<i>Страховенко В.Д., Малов Г.И., Овдина Е.А., Малов В.И.</i> Факторы, влияющие на распределение ²¹⁰ Pb и ¹³⁷ Cs в донных отложениях озер.....	144
<i>Ткач А.А., Ткач Н.Т., Зенина М.А.</i> Изотопно-кислородный состав остракод Каспийского моря.....	146
<i>Толстобров Д.С., Толстоброва А.Н., Корсакова О.П.</i> Голоценовые вертикальные движения северо-восточной части Фенноскандии по данным исследования озерных котловин.....	147
<i>Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С., Корсакова О.П.</i> Условия осадконакопления в озерах центральной части Кольского региона в поздне- и послеледниковое время.....	148
<i>Филиппова К.Г., Константинов Е.А., Захаров А.Л., Кузьменкова Н.В., Медведев А.А., Мельников М.Г.</i> Особенности формирования рельефа дна Чухломского озера (Костромская область).....	150
<i>Фоменко А.П., Савельева Л.А.</i> Новые данные по стратиграфии разреза «Ленэнерго» в связи с историей Ладожской трансгрессии.....	151
<i>Шашерина Л.В., Константинов Е.А., Захаров А.Л., Александрин М.Ю.</i> Опыт гиперспектрального сканирования отложений озера Каспля (Смоленская область).....	152
 Секция 5 – Современные изменения климата и гидрологические процессы в крупных озерах	
<i>Анисимова Л.А., Горин С.Л.</i> Кроноцкое озеро (полуостров Камчатка) – уникальная лаборатория эволюции: значимость для науки и основные черты термодинамического режима.....	154
<i>Богданов С.Р., Кузнецов П.С., Новикова Ю.С., Максимов И.А., Здорвеннов Р.Э., Пальшин Н.И., Здорвеннова Г.Э., Ефремова Т.В., Смирнов С.И.</i> Эффективность перемешивания мелководного озера при поверхностном выхолаживании.....	155
<i>Горин С.Л., Терский П.Н., Агафонова С.А., Репина И.А.</i> Гидрологический режим глубоководной части Бурейского водохранилища: холодный гиполимнион как его главное проявление и основа.....	157
<i>Гузиватый В.В., Науменко М.А.</i> Применение метода МСС для оценки течений на поверхности крупных внутренних акваторий.....	158

<i>Домнин Д.А.</i> Межсезонный гидрологический режим приморских искусственных водоёмов западного побережья Калининградской области.....	159
<i>Ефремова Т.В., Пальшин Н.И., Кравченко Т.Г., Здоровеннов Р.Э., Здоровеннова Г.Э., Богданов С.Р., Смирнов С.И.</i> Влияние изменений климата на термический и ледовый режим озёр Карелии по данным многолетних наблюдений (1950–2021 годах).....	160
<i>Здоровеннова Г.Э., Смирнов С.И., Богданов С.Р., Новикова Ю.С., Здоровеннов Р.Э., Пальшин Н.И., Ефремова Т.В., Смирновский А.А.</i> Параметры устойчивости водной толщи небольшого полимиктического озера в разные по погодным условиям годы.....	162
<i>Каретников С.Г.</i> Межгодовое изменение сезонной средней температуры поверхности воды по спутниковым данным.....	163
<i>Пилипенко К.А., Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терёшина М.А.</i> Водный баланс озёр Москвы в меняющихся ландшафтных условиях.....	164
<i>Шмакова М.В.</i> Прошлое, настоящее и будущее уровня режима больших озёр России.....	165
Секция 6 – Моделирование гидрологических и биогеохимических процессов в озерах	167
<i>Голосов С.Д., Зверев И.С., Тержевик А.Ю.</i> О параметризации прозрачности воды в природных водоемах.....	167
<i>Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.</i> Многолетние изменения экологического состояния стратифицированного водохранилища.....	168
<i>Зверев И.С., Каретников С.Г., Голосов С.Д.</i> О вертикальной циркуляции водных масс в Ладожском озере (по результатам 3D моделирования).....	169
<i>Подгорный К.А.</i> Исследование среднемноголетней пространственно-временной динамики составляющих теплового баланса и температуры воды Рыбинского водохранилища с помощью двумерной математической модели.....	169
<i>Подгорный К.А., Дмитриева О.А., Семенова А.С.</i> Применение алгоритмов прямого поиска для оценки значений параметров в моделях экосистем Невской губы и Вислинского залива Балтийского моря.....	171
<i>Терёшина М.А., Ерина О.Н., Соколов Д.И.</i> Использование одномерной озерной модели для изучения водного и термического режима озёр и водохранилищ Московской области.....	172
<i>Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Расулова А.М., Гришанцева Е.С., Нарыков А.Н.</i> Вынос загрязняющих веществ с водосборов каскада Верхне-Волжских водохранилищ и его вклад в химический состав их водных ресурсов.....	174