

## ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 061.62:556 (470.22)

### **ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОХИМИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ ИВПС КарНЦ РАН**

**М. Б. Зобков, А. В. Сабылина, Г. С. Бородулина, А. В. Рыжаков, Н. Е. Галахина, Н. А. Ефременко, Т. А. Ефремова, М. В. Зобкова**

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия*

Представлена история развития лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН начиная с ее образования в Отделе гидрологии и водного хозяйства Карельского филиала АН СССР в 1953 г. до настоящего времени. На протяжении 70 лет в лаборатории выполнялись работы по изучению поверхностных вод суши, морских и подземных вод, атмосферных осадков, донных отложений. Освещены история, важнейшие результаты, основные научные достижения и перспективные направления развития гидрохимических исследований. Особое внимание уделено практическому использованию полученных результатов, а также сотрудникам лаборатории, внесшим значительный вклад в ее развитие.

**Ключевые слова:** гидрохимия; гидрогеология; история; поверхностные воды; подземные воды; атмосферные осадки; донные отложения; научные результаты; перспективы исследований.

**M. B. Zobkov, A. V. Sabylina, G. S. Borodulina, A. V. Ryzhakov, N. E. Galakhina, N. A. Efremenko, T. A. Efremova, M. V. Zobkova. HISTORY OF DEVELOPMENT AND MAIN SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF THE LABORATORY FOR HYDROCHEMISTRY AND HYDROGEOLOGY NWPI KarRC RAS**

The article presents the history of development of the Laboratory for Hydrochemistry and Hydrogeology of the Northern Water Problems Institute (Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences) since its establishment within the Department of Hydrology and Water Management at the Karelian Branch of the USSR Academy of Sciences in 1953. For 70 years, the laboratory has been working to study surface waters, sea- and groundwater, atmospheric precipitation, bottom sediments. The history, the most important results, the main scientific achievements, and prospective lines for the development of hydrochemical research are covered. Special attention is given

to the practical use of the results, as well as to the laboratory staff who have significantly contributed to its development.

**Key words:** hydrochemistry; hydrogeology; history; surface waters; groundwater; precipitation; bottom sediments; scientific results; research prospects.

## Введение

Гидрохимические работы в Карелии начались в 1946 г. В 1953 г. в Отделе гидрологии и водного хозяйства Карельского филиала АН СССР (КФ АН СССР) была создана лаборатория гидрохимии, в формировании и оснащении которой большую роль сыграла к. г. н. П. Г. Лобза (1953–1956 гг.) – полярный исследователь, участник экспедиции НИС «Челюскин». С 1956 по 1985 г. лабораторией руководила заслуженный деятель науки КАССР к. б. н. Н. С. Харкевич. В 1985 г. лабораторию возглавил к. х. н. П. А. Лозовик (с 2005 г. – д. х. н. и с 2017 г. заслуженный деятель науки Республики Карелия). В августе 2017 г. исполняющим обязанности заведующего лабораторией гидрохимии и гидрогеологии назначен к. х. н. А. В. Рыжаков, а в 2019 г. заведующим избран по конкурсу к. т. н. М. Б. Зобков.

## История развития гидрохимических исследований в Карелии

В истории лаборатории гидрохимии и гидрогеологии можно выделить четыре периода. **В первый** из них (1953–1963 гг.) проведены широкие исследования по оценке качества питьевого водоснабжения городов и населенных пунктов Карелии (Петрозаводска, Кондопоги, Сортавалы и др.), предложены новые места водозаборных сооружений и мероприятия по совершенствованию систем водоочистки (Н. С. Харкевич, Н. П. Маслова). Планомерное изучение химического состава и качества воды озерно-речных систем Карелии, озер Сямозерской группы, оз. Тикшозера с целью рационального использования водных ресурсов в народном хозяйстве позволило создать первые на территории Карелии предприятия по выращиванию товарной рыбы (П. Г. Лобза, Н. С. Харкевич, Н. П. Маслова). По результатам этой работы в 1953 г. защищена кандидатская диссертация к. б. н. Н. С. Харкевич. Чтобы выяснить условия акклиматизации дальневосточной горбуши в Белом море, изучен химический состав вод притоков. Определен химический баланс ионов, биогенных элементов, органических и взвешенных веществ рек Белого моря, что стало основой защищенной в 1960 г. дис-

сертационной работы М. П. Максимовой на соискание ученой степени кандидата химических наук. Итоги исследований отражены в монографиях «Труды Сямозерской комплексной экспедиции» [1956], «Вопросы рыбного хозяйства водоемов Карелии» [1958], «Сямозеро и перспективы его рыбохозяйственного использования» [1977], «Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии» [1963].

**Второй период** приходится на 1963–1980 гг. В 1963 г. при расформировании КФ АН СССР Отдел гидрологии и водного хозяйства и входящая в его состав лаборатория переданы в Северный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (СевНИИГиМ). В связи с этим изменилось и направление гидрохимических исследований водоемов. Интенсивное развитие в Карелии и Архангельской области целлюлозно-бумажной промышленности поставило перед учеными задачу исследовать водоемы – приемники сточных вод в связи с их загрязнением. В результате исследований на Онежском, Ладожском озерах, Выгозерском водохранилище, оз. Суоярви и реках Северная Двина и Вычегда предложены практические рекомендации для проектных организаций по разработке современных систем очистки сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов – Сеgezского, Кондопожского, Архангельского, Соломбальского, Котласского, а также Питкярантского ЦБЗ и Суоярвской картонной фабрики (Н. С. Харкевич, М. П. Маслова, М. П. Максимова, Г. Л. Грицевская). Значительный объем гидрохимических исследований выполнен на Выгозерском водохранилище и р. Нижний Выг: в 1969–1975 гг. – до ввода в действие станции биологической очистки (СБО) сточных вод Сеgezского ЦБК; в 1976–1982 гг. – во время поэтапного ввода в строй СБО; в 1983–1991 гг. – в период работы СБО в проектном режиме, а с 1992 г. – при резком сокращении объемов производства. В процессе исследований удалось выявить распространение сточных вод в Выгозере (Н. С. Харкевич) и р. Нижний Выг (А. М. Глинский, П. А. Лозовик), оценить эффективность их очистки (В. М. Феоктистов), определить уровень допустимой антропогенной нагрузки на водоем (П. А. Лозовик). В 1978 г. по резуль-

татам проведенных работ защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук С. В. Видягиной. По материалам, полученным в 1963–1991 гг., опубликован ряд статей и сборников: «Кондопожская губа Онежского озера в связи с ее загрязнением промстоками ЦБК» [1975], «Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища» [1978], «Изменение режима Северного Выгозера и р. Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса» [1986].

В 1970 г. научные силы КФ АН СССР сконцентрировались на комплексном изучении территории, прилегающей к Костомукшскому железорудному месторождению. В этой связи лаборатория была привлечена к исследованию водных ресурсов Костомукшского района. Работы проводились в три этапа: до строительства города и комбината (1970–1976 гг.), в период наращивания мощностей комбината и возведения города (1982–1993 гг.) и регулярных попусков воды из хвостохранилища Костомукшского горно-обогатительного комбината (ГОК) (1994–2004 гг.). По результатам первого этапа исследований опубликована монография «Природные воды района Костомукшского железорудного месторождения» [1985] (Н. С. Харкевич, А. В. Сабылина, Е. П. Васильева). На втором этапе исследований установлены изменения в химическом составе озер системы р. Контолки под влиянием сброса хозяйственно-бытовых сточных вод г. Костомукши и в водоемах р. Кенти, подвергающихся воздействию горно-обогатительного комбината. Разработан режим попусков техногенных вод в систему р. Кенти (В. М. Феоктистов, П. А. Лозовик). Исследования третьего этапа позволили выявить изменение химического состава воды озерных и речных участков системы р. Кенти в результате попусков техногенных вод. Они существенно повлияли на химический состав верхних озер системы (Окуновое, Поппалиярви), что выразилось в увеличении минерализации воды, содержания калия, лития и нитратов. Изменения в химическом составе воды нижних озер (Койвас, Кенто) проявлялись меньше. Материалы наблюдений обобщены в сборнике «Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия» [2001].

**Третий этап** (1975–1980 гг.) характеризовался выполнением большого объема работ по изучению и оценке состава и качества воды Онежского озера, Ковдозера, Пяозера, Топозера, Выгозерского водохранилища, Сегозера и Ондозера, рек Кемь, Нижний Выг и ряда при-

токов Белого моря, включая р. Онега, в связи с проблемами территориального перераспределения стока. По результатам работ составлен прогноз качества воды Онежского озера, Выгозерского водохранилища, Сегозера, Ондозера, Лувозера на 1990–2000 гг. (Н. С. Харкевич, А. В. Сабылина, М. И. Басов, Г. П. Пирожкова, Б. М. Зобков). Совместно с Институтом водных проблем РАН, Институтом озероведения и Вычислительным информационным центром АН СССР сделан важный вывод о недопустимости использования Онежского озера в качестве трассы перераспределения водных ресурсов. По материалам исследований опубликован ряд статей в центральной печати.

В 1981–1988 гг. исследовались водоемы бассейна р. Шуи. Интенсивное развитие в бассейне реки сельского хозяйства, лесной и сельскохозяйственной мелиорации, лесозаготовок обогатило речные воды биогенными элементами и органическими веществами. В процессе исследований установлены изменения в экосистемах озер, произошедшие за 30 лет. Впервые были получены сведения о биогенных нагрузках, рассчитан баланс химических веществ, оценена роль обменных процессов вода-дно в формировании состава воды, оценена величина антропогенного стока в р. Шуя. Результаты работ обобщены в монографии «Поверхностные воды озерно-речной системы р. Шуи в условиях антропогенного воздействия» [1991] (П. А. Лозовик, А. В. Сабылина, Н. С. Харкевич, С. В. Курапцева (Видягина), М. И. Басов, Н. Н. Мартынова, А. К. Морозов, В. Н. Коваленко).

С 1986 г. в лаборатории проводилось планомерное изучение процессов закисления поверхностных вод Карелии, включающее в себя наблюдения за атмосферными осадками (снегом и дождевыми водами), на всей территории республики. Наблюдения велись в бассейнах рек Шуя, Суна и Выг (1989–1991 гг.), на малых озерах Вендюрско-Вохтозерской группы (1976–1993 гг.) и на озерах, пограничных с Финляндией (1996–1997 гг.). В процессе исследования показано, что атмосферные осадки, выпадающие на территории Карелии, кислые (средняя величина pH – 4,8) и представляют собой потенциальную опасность как источник загрязнения и закисления поверхностных и сточных вод. Выяснено, что местные аэрогенные выбросы крупных предприятий, расположенных в городах Сегежа, Надвоицы, Костомукша, Петрозаводск, Кондопога, приводят к загрязнению относительно небольшого района радиусом 30 км, а определяющую роль в закислении поверхностных вод

Карелии играет трансатлантический перенос атмосферных осадков из Западной Европы (П. А. Лозовик, И. Ю. Потапова, А. В. Сабылина, В. М. Феоктистов, С. В. Басова, И. Ф. Митина, Е. А. Селиванова).

Начиная с 1953 г. постоянным объектом гидрохимических исследований является Онежское озеро в связи с активным его использованием в качестве объекта питьевого водоснабжения, рыбохозяйственного назначения, рекреации, важной транспортной артерии (трасса Беломорско-Балтийского водного пути). За 1960–1990 гг. получены сведения по гидрохимическому режиму озера и отдельных его губ, а также о роли речного стока, атмосферных осадков, сточных вод и внутриводоемных процессов в формировании химического состава воды озера. Г. П. Пирожковой установлено, что в целом состояние водоема соответствует олиготрофному, за исключением акваторий, прилегающих к крупным промышленным центрам. Материалы наблюдений за 1960–1990 гг. обобщены в монографии «Экосистема Онежского озера и тенденция ее изменения» [1990].

**Четвертый этап** гидрохимических исследований (1991–2005 гг.) совпал с созданием РАН и Института водных проблем Севера КарНЦ РАН (1991 г.). Три пятилетних цикла (1991–1995, 1996–2000, 2000–2005 гг.) образуют тяжелый период, связанный с кардинальными переменами как в жизни страны, так и в Академии наук. Первые два периода проходили в ИВПС и лаборатории в режиме выживания с выходом к более устойчивому, предсказуемому функционированию, предполагающему дальнейшее развитие. Благодаря сохранению научного коллектива и НИС «Эколог» в 1990–1998 гг. проведены детальные исследования антропогенного воздействия на экосистему Онежского озера от точечных и рассеянных (речных и ливневых) источников загрязнения. Установлено, что сточные воды промышленных центров, расположенных в городах Кондопога и Медвежьегорск, в основном локализируются в заливах, тогда как сточные воды г. Петрозаводска вовлекаются в общезерный круговорот и способны воздействовать на центральную часть озера. Получены новые сведения о химическом балансе минеральных, органических и биогенных веществ в озере, о допустимой биогенной нагрузке на экосистему водоема. В 1990–2000 гг. сотрудники лаборатории принимали участие в выполнении международного проекта ТАСИС-DIMPLAC для координации усилий по управлению ресурсами Онежского и Ладожского озер. Материалы многолетних исследований отражены в моно-

графиях «Состояние водных объектов Республики Карелия» [1997] (П. А. Лозовик, А. В. Сабылина), «Онежское озеро. Экологические проблемы» [1999] (А. В. Сабылина, А. В. Рыжаков). Исследования в северной части Ладожского озера в 1992–2004 гг. показали высокое влияние рассеянных источников загрязнения на качество вод шхерных районов (П. А. Лозовик).

В результате комплексных исследований уникальной экосистемы оз. Паанаярви (бассейн р. Оланга) в 1988–1992 гг. дано заключение о недопустимости строительства на озере гидроаккумулирующей станции, а также обосновано создание национального парка «Паанаярви» (А. К. Морозов). Материалы исследований изложены в сборнике научных статей «Природа национального парка «Паанаярви» [2003].

В 1999–2001 гг. сотрудниками лаборатории проведены гидрохимические исследования водных объектов Заонежского полуострова (П. А. Лозовик, М. И. Басов, М. В. Калмыков, М. Б. Зобков). Основное внимание уделялось водным объектам, расположенным вблизи уран-ванадиевого месторождения Средняя Падма и Зажогинского месторождения шунгитов [Экологические..., 2005]. Изучение химического состава воды 59 водных объектов позволило выявить, что в естественных условиях рудопроявление не сказывается на содержании большинства элементов. В водных объектах, примыкающих к месторождению Средняя Падма, обнаружено превышение фоновых концентраций U, V и некоторых других, но они не превышают ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

### **Исследования донных отложений**

Донные отложения (ДО) озер Карелии в лаборатории гидрохимии начали изучать в 1960 г. В 1964–1980 гг. определялись количественные и качественные характеристики органических веществ и биогенных элементов в донных осадках озер, принадлежащих бассейнам рек Шуи, Суны, Кеми, Сумы, Пяльмы, Тубы, Водлы, Ковды, Черной, а также озер Западного и Восточного Заонежья (Е. П. Васильева, Т. В. Поллиева, М. В. Калмыков). Планомерное изучение ДО различных лимнологических областей Карелии позволило определить типы грунтов, вертикальную стратификацию органических веществ и биогенных элементов. Полученные результаты исследований химического состава ДО по 200 озерам отражены в «Каталоге озер Карелии (донные отложения)», составленном Е. П. Васильевой и Ю. К. Поляковым [1992].

С 1979 г. началось изучение обменных процессов на границе вода-дно, имеющих важное значение для оценки внутриводоемной трансформации веществ в разнотипных водоемах Карелии: Выгозерское водохранилище, оз. Суоярви, оз. Исо-Пюхярви, Крошнозеро (М. В. Калмыков, А. М. Глинский, П. А. Лозовик). В дальнейшем исследования обменных процессов на границе вода-дно продолжились на Онежском и Ладожском озерах (Н. А. Белкина).

Постоянным объектом изучения химического состава ДО оставалось Онежское озеро. Исследовались ДО в зонах антропогенного воздействия крупных населенных и промышленных центров (в Кондопожской, Петрозаводской губах и Большой губе Повенецкого залива). Установлены районы озера, подверженные максимальному техногенному загрязнению и эвтрофированию (Е. П. Васильева, Н. А. Белкина, М. В. Калмыков). С 1999 г. большое внимание стало уделяться изучению процессов окислительно-восстановительного диагенеза ДО Онежского и Ладожского озер под воздействием антропогенных факторов. Исследовались особенности формирования и трансформации органического вещества в ДО, отличающихся трофическим статусом, гидрологическими и морфометрическими характеристиками, литологической основой покровных пород (Н. А. Белкина). В 2003 г. по этому направлению исследований Н. А. Белкина защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата географических наук «Изменение процессов окислительно-восстановительного диагенеза донных отложений Онежского и Ладожского озер под воздействием антропогенных факторов».

### **Гидрогеологические исследования**

Гидрогеологические исследования в Отделе водных проблем развернулись в полном объеме в 1971 г. вместе с созданием лаборатории гидрогеологии, организатором и руководителем которой стал к. г.-м. н. А. А. Антонов. С 1974 по 1990 г. лабораторию (с 1985 г. – сектор) возглавлял к. г.-м. н. И. К. Поленов. В 1991 г. на базе лаборатории гидрогеологии и группы гидрофизики почв Института биологии была организована лаборатория гидрогеологии и гидрологии водосбора (заведующий д. т. н. И. М. Нестеренко). В 1999 г. создана лаборатория гидрохимии и гидрогеологии под руководством д. х. н. П. А. Лозовика.

На первом этапе существования лаборатории решались отдельные вопросы гидрогео-

логии, в том числе проводилось исследование грунтовых вод, изучение родников и обоснование статуса водных объектов – памятников природы и уникальных территорий (Н. С. Старцев, М. А. Богачев), выявление локальных запасов подземных вод района Костомукшского железорудного месторождения и изучение возможности их использования для водоснабжения [Природные..., 1985].

С 1976 г. ведутся региональные комплексные гидрогеологические и гидрогеохимические исследования по следующим основным направлениям: изучение общих гидрогеологических условий и оценка ресурсов подземных вод; изучение химического состава подземных вод, закономерностей формирования и размещения вод различного химического типа в естественных и нарушенных условиях.

Высокая озерность Карельского региона делает невозможным использование обычных гидрогеологических методов расчета подземного стока. Их усовершенствованием занимались Е. И. Лось и И. К. Поленов. Е. И. Лось считала, что за подземное питание рек Карелии следует принимать минимальный 30-дневный сток зимней межени без введения каких-либо поправок [Лось, 1977]. И. К. Поленовым разработан метод количественной оценки подземного стока с учетом озерного регулирования, на основании которого выполнены расчеты естественных ресурсов подземных вод Карелии [Поленов, Устинов, 1980]. В целом по республике естественные ресурсы подземных вод И. К. Поленовым оценены в количестве 8,5 км<sup>3</sup> в год. Доля подземного стока в общем речном составляет 30–60 %. Установлено, что ведущую роль в формировании подземного стока играет строение четвертичного покрова, а высокие значения модулей стока характерны для площадей, сложенных водно-ледниковыми комплексами. Песчаные, главным образом флювиогляциальные, отложения мощностью 10 и более метров являются наиболее перспективными для организации водоснабжения. Эксплуатационные запасы воды в этих комплексах в десятки и сотни раз выше, чем в кристаллических породах [Богачев и др., 1979].

Впервые для региона на основе изучения системы «порода – вода – растворенные газы – живые организмы» начаты региональные гидрогеохимические исследования под научным руководством профессора ЛГУ д. г.-м. н. В. С. Самариной. Были определены параметры вертикальной и горизонтальной гидрогеохимической зональности. В гидрогеологическом разрезе выделены: зона свободного водообмена с двумя подзонами и зона замед-

ленного водообмена. В установленных зонах по-разному проявляется действие основных факторов формирования химического состава подземных вод. В зоне свободного водообмена ведущая роль принадлежит физико-географическим, геоморфологическому и гидродинамическому факторам. Воды зоны замедленного водообмена представляют собой наследие предыдущих геологических периодов, они отражают характер геологических процессов и генезис пород. Эта зональность проявляется и в особенностях изменения водорастворимого комплекса пород с глубиной [Ресурсы..., 1987].

Изучение растворенных газов в подземных водах позволило разделить их на две основные группы: азотно-кислородные и азотные. Азотно-кислородные газы характерны для подземных вод низкой минерализации, приуроченных к верхним частям гидрогеологического разреза. Азотные газы характерны для подземных вод повышенной минерализации зоны замедленного водообмена. Водно-гелиевая съемка, впервые проведенная на Балтийском щите, показала, что щит, как наиболее древняя структура, продолжает развиваться, в его недрах идут процессы, следы которых в виде глубинных газов (водород, гелий, тяжелые углеводороды) устанавливаются в подземных водах верхней части геологического разреза [Богачев, Бородулина, 2008].

Результаты водно-гелиевой съемки придонного слоя воды в Петрозаводской губе Онежского озера явились первым опытом изучения субаквальной разгрузки подземных вод в озера Карелии. В Петрозаводской губе, в зоне разгрузки гдовского напорного водоносного горизонта, гелиевая аномалия зафиксирована в полосе длиной 2 км и шириной 0,5 км, вытянутой параллельно берегу на расстоянии 1 км от него [Поленов, Иешина, 1981].

В 1980–90-х гг. выполнены первые исследования природных стабильных и радиоактивных изотопов подземных вод (радиоуглерода, трития, дейтерия и др.) с целью изучения скорости водообмена, закономерностей формирования газового и химического состава и оценки возраста подземных вод. Дана характеристика железистых, радоновых и хлоридно-натриевых минеральных вод республики. Выполнен цикл режимных наблюдений за лечебными водами санатория «Марциальные воды» (А. В. Иешина, М. А. Богачев, И. К. Поленов).

Результаты работ этого этапа послужили основой диссертации А. В. Иешиной «Гидрогеохимические условия и формирование химического состава подземных вод юго-восточной части Балтийского щита» (1983), а также отра-

жены в монографии «Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии» [1987], авторами которой были А. В. Иешина, И. К. Поленов, М. А. Богачев, В. С. Теруков, Л. Ф. Логинова, Е. А. Перская, Г. С. Бородулина.

С 1985 г. проводились исследования по теме «Геохимия природных вод Карелии и локальное прогнозирование рудопроявлений гидрогеохимическими методами». Опытные методические работы, выполненные на участках с известными рудопроявлениями в пределах зеленокаменных поясов Карельского геоблока, свидетельствуют о перспективности использования метода для локального прогнозирования рудопроявлений (М. А. Богачев, А. В. Иешина, В. С. Теруков, А. В. Егоров, А. Ю. Эклунд, Г. В. Романова, И. С. Селышева). А. В. Егоров впервые применил физико-химическое моделирование в системе «порода – вода» для прогноза рудопроявлений и влияния степени водообмена на формирование химического состава воды [Егоров, 1990]. Признанием перспективности гидрогеохимического метода явилось участие лаборатории в поисковых работах в пределах Печенгской структуры на Кольском полуострове в 1995–1996 гг. (М. А. Богачев, А. В. Иешина, Г. С. Бородулина, Г. Л. Чесалина).

Результаты гидрогеологических и гидрогеохимических исследований послужили основой для развития дальнейших работ в Карелии, направленных на решение ряда вопросов как теоретического, так и практического значения, связанных с использованием и охраной подземных вод.

В период 1991–2001 гг. на территории Заонежья проведены гидрогеологические исследования, в том числе на месторождениях Зажогинское (шунгит) и Средняя Падма (уран-ванадий), выполнен большой объем опытных откачек из скважин. Впервые выполнено физико-химическое моделирование состава природных вод [Бородулина, Мазухина, 2002]. В сборнике «Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма» [2005] показано, что сложность геологического строения Онежской мульды определяет разнообразие подземных вод по минерализации и химическому составу. В пределах месторождений шунгитосодержащих пород формируются кислые сульфатные воды, на месторождении Средняя Падма – гидрокарбонатные вплоть до высокощелочных. Дальнейшие исследования показали, что основной причиной формирования кислых сульфатных вод является пиритизация высокоуглеродистых палеопротерозойских пород Онежской структуры [Бородулина и др., 2020].

В период совместных работ с УГП «Минерал» (Санкт-Петербург) в 2001 г. в рамках международного проекта «Экогеохимия Баренц-региона» по составлению геохимических атласов Восточного и Центрального Баренц-регионов [Salminen et al., 2004] получен материал по химическому составу малых поверхностных водотоков (водосборы около 100 км<sup>2</sup>) на территории Карельского региона в период межени, отражающих преимущественно подземный сток четвертичных отложений (М. А. Богачев, Г. Л. Чесалина).

Накопленная информация о подземных водах региона послужила основой для создания «Эколого-гидрогеохимической карты восточной части Балтийского щита» масштаба 1:2500000 в «Атласе геохимических карт России» [Суриков и др., 2007], гидрогеохимической карты водосборной территории Онежского озера [Онежское..., 2010].

Отмеченная И. К. Поленовым ведущая роль строения четвертичного покрова в формировании подземного стока подтвердилась начатыми в 1996 г. совместно с финскими специалистами исследованиями по оценке запасов подземных вод в песчаных отложениях для водоснабжения населенных пунктов Карелии. Большой объем буровых, опытно-фильтрационных и аналитических работ под руководством М. А. Богачева в различных районах республики позволил выявить закономерности распространения и условия формирования подземных вод в четвертичных отложениях и определить наиболее перспективные участки для организации питьевого водоснабжения населения. Практическим результатом комплекса работ является оценка запасов месторождений подземных вод для водоснабжения г. Суоярви, поселков Калева-ла, Поросозеро, Кааламо, Рускеала и ряда других населенных пунктов Карелии. В результате проведенных исследований введен в эксплуатацию подземный водозабор для централизованного водоснабжения пос. Пряжа (Г. С. Бородулина, И. С. Селышева, Е. А. Перская, Г. Л. Чесалина). Работы по оценке перспективности четвертичных отложений для водоснабжения позволили собрать большой объем гидрогеохимических данных. Результаты этих работ отражены в монографии «Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества» [2006].

### **Современный этап развития лаборатории**

Одно из основных направлений деятельности лаборатории гидрохимии и гидрогеоло-

гии – анализ химического состава различных объектов гидросферы. За время существования лаборатории определены целые ряды компонентов претерпели существенные изменения. Под руководством П. А. Лозовика была проделана большая работа по обеспечению аналитической репрезентативности гидрохимических данных, полученных в разные годы наблюдений, проведено сопоставление всех использованных методов.

Совершенствование аналитических методов, техническое переоснащение, развитие компьютерных технологий позволили расширить перечень исследуемых объектов и изучаемых в них компонентов, а также повысить точность и чувствительность методов обнаружения многих элементов. На современном этапе в лаборатории кроме традиционных методов, таких как гравиметрия и титриметрия, применяются высокочувствительные методы атомной и молекулярной спектроскопии, масс-спектрометрии, хроматографии.

Наряду с общепринятыми в гидрохимии методиками измерений используются модифицированные и новые оригинальные методики определения, разработанные в лаборатории. Предложены новые методы анализа различных химических показателей в природных и загрязненных водах: п-хинонов, фенолов, лигносульфонатов, липидов, углеводов, белков, органического углерода, цветности, хлоридов, щелочности и др. (П. А. Лозовик, Н. Н. Мартынова, А. М. Глинский, А. В. Сабылина, Н. А. Ефременко, Т. А. Ефремова, Ю. Ю. Таланов, В. М. Феоктистов, М. Б. Зобков). Широко используются новые методы определения азотистых соединений (Н. А. Кукконен, О. И. Икко, Т. А. Ефремова), различных форм фосфора (Е. А. Селиванова, И. А. Степанова), сульфатов и органических веществ (Н. Н. Мартынова, И. С. Родькина), тяжелых металлов методом атомно-абсорбционной спектроскопии и методом масс-спектрометрии (Н. А. Ефременко, А. В. Платонов, Н. В. Кулик), гуминовых и фульвовых кислот и их комплексообразующей способности (А. К. Морозов, М. В. Зобкова).

В 2001 г. лаборатория была аккредитована в Госстандарте России, а с 2009 по 2017 г. – в национальной системе аккредитации. Достоверность и репрезентативность получаемых в лаборатории данных неоднократно подтверждались в рамках межлабораторных сравнительных испытаний и международного проекта ICP-Waters, была получена высокая сходимость результатов анализа, свидетельствующая об их соответствии европейским стандартам.

В 2015 г. в соответствии с решением V Всероссийского симпозиума «Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах» лабораторией был организован и проведен проект по межлабораторному сличению результатов анализа органического вещества и биогенных элементов в природных водах, участниками которого стали 14 ведущих лабораторий России, Беларуси и Украины.

Многолетний аналитический опыт работ в области гидрохимии и смежных с ней дисциплин – лимнологии, аналитической химии и экологии позволил подготовить и опубликовать научно-методическое пособие «Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике» [2017] (П. А. Лозовик, Н. А. Ефременко). Работа получила положительные отзывы специалистов широкого круга.

В настоящее время лаборатория продолжает развитие аналитической базы, одно из направлений которой связано с разработкой методов определения нового загрязнителя окружающей среды – микропластика.

### **Гидрохимические исследования Белого моря**

В 1991 г. возобновились гидрохимические работы на Белом море. А с 2000 г. исследования Белого моря и его водосбора стали комплексными социо-эколого-экономическими. В рамках проекта «Система Белого моря» под руководством академика А. П. Лисицина (ИО РАН) получены количественные и качественные характеристики химического состава воды Белого моря и крупных рек Онега, Кемь, Кереть. Данные исследования проводились в тесном сотрудничестве с Институтом водных проблем РАН (Москва), Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Москва), Зоологическим институтом РАН (Санкт-Петербург), Институтом полярных и морских исследований им. А. Вегенера (Бремерхафен, Германия). В рамках исследований осуществлялся мониторинг физических, химических, геологических и биологических процессов в эстуариях карельского побережья Белого моря (реки Кереть и Кемь) [Долотов и др., 2002, 2005; Shevchenko et al., 2005; Шевченко и др., 2010; Политова и др., 2014], выявлено воздействие приливов и отливов на ход эстуарных процессов в зоне влияния этих рек [Долотов и др., 2008]. При этом гидрохимические исследования в рамках совместного проекта включали изучение распределения минерального взвешенного вещества, взвешенных форм тяжелых металлов (Pb,

Cd, Cu, Zn, Fe, Mn), хлорофилла *a* и биогенных элементов (кремния, форм азота и фосфора) в воде (И. Ю. Потапова (Кравченко), А. В. Платонов). Многолетние (2001–2013 гг.) совместные комплексные исследования Белого моря и эстуариев крупных рек (Онега, Кереть, Кемь) имели важное значение для совершенствования системы водопотребления и водопользования региона.

В 2019 г. возобновились гидрохимические работы в рамках комплексных исследований трансформации гидрологических и биогеохимических режимов Белого моря под влиянием приливных процессов на основе методов анализа данных контактных и спутниковых наблюдений, а также математического моделирования. Гидрохимический блок этих исследований включает изучение распределения биогенных элементов в воде Белого моря и устьевых областей рек Кемь [Толстикова и др., 2020] и Нижний Выг в различные сезоны года (отв. Н. Е. Галахина).

### **Гидрогеологические исследования**

Результаты исследований предшествующих лет позволили с учетом впервые установленных региональных фоновых концентраций всего спектра элементов оценить эколого-геохимическое состояние подземных вод. Показано, что преимущественное распространение на территории региона имеют подземные воды природного состояния. Природные гидрогеохимические аномалии Карелии обусловлены не только избытком отдельных элементов (железа, марганца, радона), но и недостатком биологически важных (кальция, магния, йода, фтора, кобальта, хрома и др.), а также их экологически неблагоприятным соотношением. Загрязненные воды имеют локальное распространение. Установлено, что основное антропогенное воздействие на подземные воды связано с хозяйственно-бытовым загрязнением. В 2004 г. по результатам многолетних исследований защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Г. С. Бородулиной на тему «Эколого-геохимические особенности подземных вод Карелии».

Изучение подземного стока в водоемы продолжено сотрудниками лаборатории под руководством д. г.-м. н. И. С. Зекцера (ИВП, Москва). В книге «Submarine groundwater», изданной в Атланте (США), опубликована глава о прямом подземном стоке в некоторые озера Карелии [Borodulina, Trenin, 2006]. Исследования были продолжены в рамках проектов РФФИ «Зако-

номерности формирования и роль подземного стока в водном и солевом балансе Онежского озера» (рук. Г. С. Бородулина, 2008–2010) и «Изучение геохимических аномалий на границе вода-дно, связанных с субаквальной разгрузкой подземных вод в озера восточного склона Балтийского щита» (рук. Г. С. Бородулина, 2011–2013). В результате дана характеристика гидрогеологических условий формирования подземного стока на водосборе Онежского озера и количественная оценка водного и химического подземного стока, минуя речную сеть, в Онежское озеро и отдельные озера бассейна р. Шуя. Несмотря на то что доля прямого подземного стока в водном балансе озер незначительна, его влияние на химический состав озерной воды более значимо и нередко сравнимо с воздействием, оказываемым поверхностными водами. Наиболее важна роль подземного стока в химическом балансе небольших озер [Лозовик, Бородулина, 2009; Бородулина, 2011]. Впервые исследованы химический, газовый, изотопный состав придонных вод и донных отложений и биологические характеристики в районах субаквальной разгрузки подземных вод в котловину водоемов. Результаты оценки подземного стока в Онежское озеро представлены в монографии «Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях» [2015].

Методы оценки подземного стока применены и при изучении палеостока в Онежское озеро разных временных этапов его развития на основе гидрологических характеристик палеоводоема и его водосборного бассейна в рамках программы президиума РАН «Формирование экосистемы Онежского озера в голоцене» 2018–2020 гг. (руководитель д. г. н. Д. А. Субетто).

В 2013–2015 гг. сотрудники лаборатории совместно с Институтами геологии, леса, биологии КарНЦ РАН принимали участие в проекте РФФИ «Разработка основ комплексного геоэкологического мониторинга северных урбанизированных территорий» в части изучения химического состава подземных вод на территории Петрозаводска и разработки концепции геоэкологического мониторинга [Крутских и др., 2016]. В книге «Водные объекты города Петрозаводска» [2013] представлены результаты многолетнего исследования подземных вод на территории города.

Участие в 2012–2014 гг. в проекте РФФИ «Мониторинг изотопного состава атмосферных осадков ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^2\text{H}$ ) на территории Россий-

ской Федерации» (рук. к. г.-м. н. И. В. Токарев, Санкт-Петербургский университет) способствовало продолжению начатых в 2011 г. регулярных наблюдений за изотопным составом атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод. Это направление позволило получить данные о распределении изотопного состава воды в Петрозаводской губе Онежского озера и его притоков и подтвердить характер водообмена губы [Лозовик и др., 2019], а также о распределении изотопов в разрезе и по площади Онежского озера и на его водосборе. Выполнен комплекс работ, направленный на изучение динамики водных масс и условий формирования водного баланса озера. Впервые получены непрерывные ряды наблюдений за изотопным составом атмосферных осадков, поверхностных и подземных вод региона, позволившие рассчитать средние показатели объектов гидросферы.

Стабильные изотопы воды (дейтерий, кислород-18), являясь маркерами происхождения природных вод, активно используются для палеореконструкций. В рамках проекта РФФИ «Палеолимнология Онежского озера: строение, процессы накопления и трансформации донных отложений. От приледникового озера до современных условий» (рук. Д. А. Субетто) установлено, что в Беломорско-Балтийском регионе валдайское похолодание отразилось в формировании в протерозойских породах изотопически легких подземных вод ( $\delta^2\text{H} < -100\text{‰}$  и  $\delta^{18}\text{O} < -14\text{‰}$ ), для которых в ряде случаев отмечается неравновесное фракционирование изотопов водорода и кислорода, связанное с криогенным метаморфизмом [Tokarev et al., 2019].

Совместные с Чешской геологической службой исследования поведения изотопов хрома в воде рек двух стран, однотипных по характеристикам водосбора, выявили влияние подземного стока на формирование состава воды р. Неглинка [Andronikov et al., 2020].

В 2018–2020 гг. лаборатория принимала участие в проекте Европейского союза по программе «Интерперг Балтийского моря» BSUIN (Baltic Sea Underground Innovation Network), в рамках которого выполнены исследования водных объектов на территории горного парка «Рускеала», организован мониторинг природных и искусственных водоемов на изучаемой территории (Большой каньон, подземное озеро, оз. Монферрана, оз. Светлое, р. Тохмайюки, водозаборная скважина) (Г. С. Бородулина, М. А. Левичев).

Традиционно одним из важных направлений исследований лаборатории является из-

учение минеральных вод Республики Карелия [Бородулина, Игонин, 2012; Бородулина, 2015]. В 2008–2009 гг. выполнена оценка запасов радоновых лечебных минеральных вод в районе г. Костомукши (Кондокское месторождение), определены источники формирования эксплуатационных запасов, изучен химический состав воды и концентрация радона в многолетнем и сезонном разрезе. Воды используются в отделении радонотерапии Костомукшской больницы [Бородулина, Левичев, 2019].

Выполненные лабораторией в 1970-х годах режимные наблюдения на месторождении марциальных вод продолжались, но нерегулярно, и лишь в 2018–2020 гг. при поддержке проекта РФФИ «Закономерности формирования железистых минеральных вод (курорт «Марциальные воды»)» (рук. Г. С. Бородулина) организован ежедневный мониторинг температуры воды и дебита скважин, а также ежемесячные наблюдения за изотопно-химическим составом подземных вод [Бородулина и др., 2019]. Определено, что основными процессами формирования высокожелезистых вод являются окисление сульфидов в шунгитсодержащих комплексах палеопротерозоя и растворение продуктов окисления, имеющих криогенный генезис. Значительные отличия дебита, состава воды четырех близко расположенных скважин и существенный разброс возрастов их вод указывают на смешение современных и реликтовых вод. Установлено, что техногенная деятельность в области питания подземных вод явилась причиной значительных изменений в изотопном составе минеральных вод на фоне относительно стабильного химического состава. Создана концептуальная модель формирования уникального месторождения минеральных железистых вод первого российского курорта «Марциальные воды» на основе режимных наблюдений, изотопно-геохимических данных и палеореконокструкций климата [Токарев и др., 2015].

### **Гидрохимические исследования поверхностных вод**

Важной особенностью поверхностных вод Карельского гидрографического района является низкая освоенность территории и незначительное хозяйственное использование водных ресурсов. В совокупности с большим объемом фактической информации это позволило П. А. Лозовику разработать геохимическую классификацию поверхностных вод гумидной зоны на основе теории кислотно-основного равновесия и интегральную систе-

му оценки качества природных незагрязненных вод, а также установить геохимические константы, характеризующие процессы, протекающие в водной среде. Им также были обоснованы критерии оценки допустимой минеральной, биогенной, органической, кислотной и токсической нагрузки на водный объект, на основании которых определены уровни допустимого антропогенного воздействия на водные объекты Карелии. В рамках работы над докторской диссертацией П. А. Лозовик дал теоретическое и экспериментальное обоснование гидрогеохимических критериев состояния и устойчивости водных объектов к антропогенному воздействию. Разработана методология гидрохимических исследований, обеспечивающая получение надежных данных по функционированию водных объектов, формированию химического состава их воды и его трансформации под действием внешних физических факторов и внутриводоемных процессов. Полученные результаты широко использованы для принятия разнообразных решений управленческого характера, в частности по оптимизации сбросов целлюлозно-бумажных предприятий в водные объекты Карелии, попускам воды из хвостохранилища Костомукшского ГОКа и при нормировании антропогенного воздействия на водные объекты. На основе многолетних исследований, проведенных в 1985–2003 гг. на более чем 800 водных объектах Карелии, П. А. Лозовик в 2006 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора химических наук на тему «Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию».

Новые подходы к оценке качества и изучению поверхностных вод, разработанные в лаборатории, были алгоритмизированы и реализованы М. Б. Зобковым в автоматизированной системе «Обработка гидрохимической информации», куда также вошли авторские методы по автоматизированной оценке качества воды с применением функций желательности [Зобков, 2012]. Эти разработки легли в основу диссертации М. Б. Зобкова на соискание ученой степени кандидата технических наук «Методы обработки геоинформационных данных состояния водных объектов», которая была защищена в 2012 г.

С 2000-х годов в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС по инициативе и под руководством П. А. Лозовика началась разработка нового физико-химического подхода к изучению внутриводоемных процессов, а после 2005 г. это стало главным научным направлени-

ем лаборатории, проводимым по бюджетным темам, программам ОНЗ РАН и гранту РФФИ. Среди бюджетных тем это в первую очередь «Гидрогеохимические критерии оценки состояния водных объектов гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию» (2014–2016 гг.) и «Научные основы оценки состояния и функционирования водных объектов гумидной зоны по химическим и кинетическим параметрам» (2017–2020 гг.).

В 2000–2005 гг. активизировалось изучение химических процессов, происходящих в водной экосистеме Онежского озера, с целью установления фундаментальных закономерностей в ее функционировании. Исследования, выполненные как в натуральных условиях, так и методом лабораторного моделирования, были ориентированы на изучение состава и свойств органических веществ, процессов трансформации минеральных и органических азотсодержащих соединений, кислотно-основного равновесия, а также определялись формы и миграционная способность железа, марганца и других элементов (П. А. Лозовик, А. В. Сабылина, А. В. Рыжаков, Н. А. Кукконен, Н. Н. Мартынова, А. К. Морозов, А. В. Платонов).

Важнейшими из внутриводоемных процессов являются трансформация лабильных и загрязняющих веществ, круговорот биогенных элементов и продукционно-деструкционные процессы. Все эти процессы, как было показано П. А. Лозовиком, одинаково хорошо описываются уравнениями классической кинетики химических реакций первого порядка (реже нулевого), что позволило создать общий подход для их описания. Он впервые количественно связал ассимиляцию веществ с константами скоростей их внутриводоемной трансформации и предложил способы определения констант скоростей трансформации веществ расчетным балансовым методом через удерживающую способность и методами лабораторного моделирования, которые дают эти величины непосредственно. Получено кинетическое уравнение, позволяющее рассчитывать константы скорости трансформации веществ по периоду водообмена озера и удерживающей способности [Лозовик и др., 2011]. В результате проведенных исследований установлена ассимиляционная способность Онежского и Ладожского озер для  $N_{орг}$ ,  $P_{общ}$ , Si и Fe. Среди этих показателей железо общее имеет наибольшую константу скорости трансформации и наименьший период полупревращения, т. е. этот компонент наиболее подвержен изменению в озерных системах. По способности к трансформации кремний занимает промежу-

точное положение между железом и  $N_{орг}$  и  $P_{общ}$  [Крупнейшие..., 2015]. По данной тематике также выполнялся грант РФФИ «Нормирование антропогенного воздействия на водные объекты Севера с учетом их ассимилирующей способности» (2007–2008 гг.).

Важным практическим применением предложенного показателя ассимиляции является то, что на его основе можно проводить нормирование антропогенной нагрузки на водные объекты. Водные объекты Карелии, испытывающие антропогенное воздействие (озера Ладожское, Онежское, Среднее Куйто, озерно-речная система Кенти-Кенто) вследствие климатических и геохимических особенностей (низкие величины минерализации и концентрации биогенных элементов, высокое содержание ОВ) имеют низкую самоочистительную способность. Данный подход был продемонстрирован П. А. Лозовиком для оценки допустимой фосфорной нагрузки на Ладожское озеро, оз. Крошнозеро, Онежское озеро и его залив – Кондопожскую губу, а также органической нагрузки на оз. Исо-Пюхьярви. Так, для расчета допустимой фосфорной нагрузки принималась сумма природной нагрузки на водоем и ассимиляция  $P_{общ}$  в природном состоянии водоема. Выявлено, что состояние Онежского озера полностью соответствует этой нагрузке и по содержанию  $P_{общ}$  в современный период оно отвечает верхней границе олиготрофных водоемов. Что касается Ладожского озера, то содержание  $P_{общ}$  в нем в современный период соответствует допустимой фосфорной нагрузке. Это является результатом снижения внешней фосфорной нагрузки на озеро в последние годы и, как следствие, уменьшения концентрации  $P_{общ}$  в самом озере. Однако в воде оз. Крошнозеро современная концентрация  $P_{общ}$  превышает допустимую в 1,3 раза.

Для нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты загрязняющими веществами П. А. Лозовик и Н. Е. Галахина предложили методику, учитывающую степень загрязнения этих объектов, оцениваемую по региональному индексу загрязненности воды (РИЗВ), и объем стока из них [Лозовик, Галахина, 2019]. Предложена методика расчета РИЗВ, учитывающего содержание в воде приоритетных загрязнителей и их региональные предельно допустимые концентрации (РПДК) [Лозовик, Платонов, 2005]. С использованием предложенной методики проведено нормирование допустимых антропогенных нагрузок загрязняющими веществами на озерно-речную систему Кенти-Кенто (Республика Карелия) и оз. Имандра (Мурманская область) [Лозовик, Галахина, 2019]. Пока-

зано, что для водоемов системы р. Кенти, подверженных техногенному влиянию АО «Карельский окатыш», показателями, отражающими специфику производства этого предприятия и его воздействия на водную среду, являются  $K^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ ,  $Li^+$  и  $Ni$ . В предложенной методике нормирования учитывается как качественная сторона (степень загрязнения воды), так и количественная (объем стока). Работа по этому направлению проводилась также и по программе ОНЗ РАН «Оценка качества вод и нормирование антропогенного воздействия на водные объекты Севера с учетом их ассимиляционной способности» (2009–2011 гг.).

Многолетние гидрохимические исследования водных объектов, подверженных влиянию Костомукшского ГОКа, позволили выявить физико-химические процессы и природно-техногенные факторы, обуславливающие формирование и изменчивость состава воды зоны техногенеза и водоприемников техногенных вод комбината, оценить загрязненность водных объектов, подверженных их влиянию, а также разработать оригинальный подход к нормированию допустимого сброса сточных вод. В 2018 г. по результатам этих исследований Н. Е. Галахиной защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук «Оценка воздействия техногенных вод предприятия железорудной промышленности на систему водных объектов Северной Карелии с учетом природных условий».

В современный период развития важным достижением лаборатории было изучение трансформации соединений азота в природных водах, динамика изменения состава и соотношения которых определяется интенсивностью их биохимической (бактериальной) трансформации в результате протекания внутриводоемного круговорота, представляющего собой циклическую цепь последовательных реакций первого порядка:  $N_{орг} \rightarrow NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^- \rightarrow N_{орг}$ . А. В. Рыжаков, используя методы лабораторного моделирования и анализа натурных данных, впервые определил кинетические характеристики данных реакций (константы скоростей, средние величины скоростей, время полупревращения) [Рыжаков и др., 2010]. Также было установлено, что значения констант скоростей трансформации для различных стадий находятся в обратной зависимости от концентраций соединений азота, которые являются исходными для соответствующих стадий цикла.

Известно, что трансформация фосфора связана с превращением органической формы в минеральную и обратно под действием щелочной фосфатазы. А. В. Рыжаковым и А. В. Са-

былиной определены скорости оборота фосфора, сезонная и температурная зависимости реакции в воде Онежского и Ладожского озер [Рыжаков, Сабылина, 2015].

С 2010 г. П. А. Лозовиком и М. В. Зобковой разрабатывался новый подход к оценке продукции и деструкции ОВ в водных объектах, основанный на кинетике БПК и показателях содержания и трансформации автохтонного ОВ [Лозовик и др., 2017]. Некоторые разделы этой работы выполнялись и при поддержке проекта ОНЗ РАН «Кинетические закономерности продукционно-деструкционных процессов в разнотипных водных объектах Карелии» (2012–2014 г.).

Важнейшей характеристикой ОВ природных вод является его качественный и количественный состав. П. А. Лозовиком и М. В. Зобковой разработана новая методика разделения ОВ на аллохтонную и автохтонную составляющие с помощью слабоосновного анионита диэтиламиноэтилцеллюлозы. Установлено, что аллохтонное ОВ превалирует по массе над автохтонным и составляет в среднем 75 % от общего содержания ОВ в водах гумидной зоны. Оно также отличается стабильностью состава и большей устойчивостью к окислению, чем автохтонное ОВ. Для жизнедеятельности гидробионтов важно не общее содержание ОВ, а его присутствие в составе легкоокисляемых фракций (углеводов, липидов, белков и др.). Т. А. Ефремовой установлено, что в автохтонном ОВ доля углеводов может достигать 50 %. Доля белков и липидов в его составе небольшая и составляет 2–5 % [Ефремова, Зобкова, 2019]. П. А. Лозовик и М. В. Зобкова обнаружили важную закономерность в распределении ОВ: содержание автохтонного растворенного ОВ примерно одинаково для всех водных объектов Карелии, тогда как концентрация аллохтонного ОВ весьма изменчива и определяется характером водосборной территории.

Кроме изучения внутриводоемных процессов в лаборатории активно продолжались традиционные гидрохимические исследования в рамках бюджетных тем «Геохимические особенности поверхностных и подземных вод Карелии, обусловленные природными и антропогенными факторами» (2005–2007 гг.) и «Исследование процессов формирования химического состава поверхностных, подземных вод и донных отложений водоемов гумидной зоны» (2008–2010 гг.). Так, были выявлены геохимические особенности поверхностных вод Карелии, обусловленные природными и антропогенными факторами. Обобщены материалы многолетних наблюдений за химическим со-

ставом более 1000 водных объектов. Представлены основные итоги разработки критериев оценки состояния и устойчивости водных объектов гумидной зоны к антропогенному воздействию с учетом процессов формирования химического состава вод. Результаты работы представлены, в частности, в монографии «Озера Карелии» [2013].

Установлены основные геохимические характеристики поверхностных вод гумидной зоны. Большинство объектов (85 %) имеют низкую минерализацию (менее 50 мг/л) с преобладанием вод группы кальция, магния гидрокарбонатного и карбоксилатного классов. Результаты работы представлены в рамках бюджетной темы «Роль водосборной территории и внутриводоемных процессов в формировании химического состава природных вод Карелии» (2011–2013 гг.). Выявлена высокая вариабельность содержания ОВ с низкой долей автохтонного ОВ. Введено новое понятие «гумусность воды», определяемое как среднегеометрическое значение цветности и перманганатной окисляемости. Обнаружена тесная корреляция между косвенными показателями содержания ОВ, гумусностью воды и концентрацией органического углерода [Лозовик и др., 2007]. На примере разнотипных озер Карелии по данным, полученным в 2011–2016 гг., установлено распределение основных форм фосфора (минерального, взвешенного, железосвязанного и органического) в водоемах гумидной зоны. Впервые методом адсорбции гумусовых веществ и их комплексов с металлами на диэтил-аминоэтилцеллюлозе определено содержание железосвязанного и органического фосфора. Выявлено, что органический, взвешенный и железосвязанный фосфор находятся в близких количествах, а меньше всего приходится на минеральный, который в первую очередь усваивается гидробионтами. По этой причине биогенное лимитирование в поверхностных водах гумидной зоны обусловлено в основном фосфором минеральным [Рыжиков и др., 2016].

Как и в предыдущие годы, большое внимание в работе лаборатории уделялось прикладным исследованиям. Как правило, эти работы проводились в рамках хозяйственных тем с бюджетными и внебюджетными организациями.

Самым продолжительным из них (более 15 лет) был мониторинг водных объектов на территории Карелии, который проводился согласно приказу Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ № 138 от 12.05.1994 г. Заказчиком этих работ являлось Министерство природных ресурсов

Республики Карелия. Основное внимание уделялось водным объектам, для которых экологические проблемы были особенно актуальны и требовалось принятие управленческих решений по осуществлению водоохранных мероприятий. Их распределяли по группам в зависимости от характера и степени антропогенного воздействия:

1. Водные объекты техногенных районов: Онежское озеро, северная часть Ладожского озера, Выгозерское водохранилище и р. Нижний Выг, водоемы района Костомукши (озерно-речные системы Кенти и Контокки, озера Каменное и Ср. Куйто), Суоярви и Исо-Пюхяярви.

2. Водные объекты сельскохозяйственных районов: Сямозеро, Крошозеро, Святозеро, Вагатозеро, Пряжинское, Ведлозеро.

3. Фоновый мониторинг: озера Кончезерской группы, нижнего участка р. Суны и Заонежья (Урозеро, Укшезеро, Кончезеро, Пертозеро, Габозеро, Мунозеро и др.).

4. Речные системы: притоки Онежского, Ладожского озер и Белого моря в границах Карелии.

Периодичность наблюдений определялась конкретно для каждого водного объекта. Всего по объектам мониторинга установлен химический состав около 4000 проб воды. Оценка устойчивости и загрязненности вод выполнялась на основе повторяемости случаев и кратности превышения ПДК. В качестве критерия загрязненности водного объекта сточными водами также был использован такой показатель, как кратность разбавления сточных вод в данной точке наблюдения. Была сформирована база данных. Ежегодно по материалам мониторинга формировался отчет, основные сведения включались в Государственный доклад по состоянию окружающей среды Республики Карелия. Исследования показали, что принятые схемы мониторинга и методологические основы оценки качества воды, экологического состояния водоемов и их загрязненности по химическим показателям оказались рациональными и достаточно информативными, что позволило своевременно выявлять и прогнозировать развитие негативных процессов в водных объектах. По результатам мониторинга опубликованы две монографии [Современное..., 1998; Состояние..., 2007].

Сотрудниками лаборатории гидрохимии и гидрогеологии проводились многолетние исследования водных объектов района Костомукши, подверженных техногенному влиянию Костомукшского ГОКа, начавшего свою деятельность в 1982 г. Наблюдения начались в 1970-х годах, еще до ввода в эксплуатацию железоз-

рудного месторождения, когда водоемы находились в естественном состоянии, и продолжались до 2015 г. в рамках осуществления мониторинга водных объектов (Н. С. Харкевич, П. А. Лозовик, В. М. Феоктистов, А. В. Морозов, М. В. Калмыков, Н. Е. Галахина) [Харкевич и др., 1980; Феоктистов и др., 1992; Лозовик, Галахина, 2017; Галахина, Лозовик, 2018]. В 2013 г. под руководством М. Б. Зобкова определены морфометрические характеристики хвостохранилища Костомукшского ГОКа в современный период, а в 2015 г. и при участии лаборатории географии и гидрологии (А. Ф. Балаганский) также был проведен мониторинг состояния дна, берегов, изменений морфометрических особенностей, состояния и режима использования водоохраных зон и водохозяйственных систем водных объектов в зонах выпуска техногенных вод Костомукшского ГОКа.

В 2013 г. лаборатория участвовала в проекте «Чистая Ладога» по договору с АНО «Центр энергетической эффективности». Определялась антропогенная нагрузка на северную часть Ладожского озера от точечных и рассеянных источников загрязнения, находящихся на побережье озера и в бассейнах рек, протекающих по территории Олонецкого, Питкярантского, Сортавальского и Лахденпохского муниципальных районов Республики Карелия. Проведенные расчеты позволили установить, что сельскохозяйственные объекты дают наибольший вклад в антропогенную нагрузку на Ладожское озеро по сравнению с точечными источниками загрязнения и форелеводческими хозяйствами. Основное негативное влияние оказывают пахотные земли и животноводческие комплексы, расположенные вблизи русла рек. Показано, что большинство БОС практически не работали, за исключением очистных сооружений городов Лахденпохья и Сортавала. В этой связи требуется в первую очередь строительство очистных сооружений для неочищенных сточных вод, а также повышение эффективности очистки (а именно работы очистных сооружений на уровне проектных показателей) сточных вод г. Олонца, поселков Ильинский, Хелюля, Мийнала, Импилахти.

В 2015 г. по заданию Института озероведения РАН в ИВПС проводилась работа «Анализ водного и биогенного стока в Онежское озеро с водосборной территории», цель которой заключалась в оценке диффузной биогенной нагрузки на Онежское озеро и разработке научно обоснованных предложений по ее снижению. Были учтены точечные источники загрязнения и селитебные территории, расположенные на побережье озера и его водосборе, свалки

бытовых и промышленных отходов, форелевые хозяйства, сельско-, лесохозяйственные и лесопромышленные объекты. Из природных источников диффузной нагрузки рассмотрены речные воды, атмосферные осадки и подземные воды, разгружающиеся непосредственно в озеро. Установлено, что основной вклад в антропогенную нагрузку на озеро дают точечные источники загрязнения (около 63 %). Роль диффузных меньше (около 37 %). Среди рассеянных источников выделяются сельско- и лесохозяйственные объекты (около 56 % от общей диффузной нагрузки), форелеводческие хозяйства (37 %  $P_{\text{общ}}$ ) и селитебные территории (24 %  $N_{\text{общ}}$ ). Вклад свалок значительно меньше (менее 1 % от общей антропогенной нагрузки). Серьезной проблемой также является некорректное функционирование или отсутствие очистных сооружений в большинстве поселений, расположенных на водосборе озера [Лозовик и др., 2016].

Многолетние исследования по содержанию органических и биогенных веществ в озерах Карелии получили высокую оценку научной общественности страны, позволили провести два симпозиума с международным участием «Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах» (1985 и 2012 гг.).

Сотрудники лаборатории принимали активное участие в написании коллективных монографий. Например, в универсальном справочнике «Карелия: энциклопедия» под редакцией А. Ф. Титова [2007, 2009] представлены результаты работ по исследованию химического состава и качества воды в 30 озерно-речных системах Карелии (А. В. Сабылина, П. А. Лозовик). По материалам многолетних исследований химического состава воды Онежского озера и его притоков (1965–2009 гг.) при участии сотрудников лаборатории издан атлас «Онежское озеро» [2010]. В работе показано изменение химического состава воды озера и его притоков в период подъема промышленного и сельскохозяйственного производства в Карелии (1965–1985 гг.) и его спада (1990–2009 гг.).

Кроме того, сотрудники лаборатории принимали активное участие в международных проектах. В рамках международного проекта «Ладожское озеро: жизнь подо льдом – взаимодействие процессов подо льдом в результате глобальных изменений» исследовался химический состав воды Петрозаводской губы и Центрального плеса озера. Качество воды подо льдом в губе зависит главным образом от объема гумифицированных речных шуйских

вод и антропогенного стока с побережья. Воды Центрального плеса озера характеризуются высоким качеством (цветность 20–22 град., ПО 6,7 мгО/л,  $C_{\text{орг}}$  6,1 мг/л). Впервые изучался химический состав в многокомпонентной системе «снег на льду – лед – подледная вода» в Петрозаводской губе и Центральном плесе озера. В результате исследований показано, что среди неорганических форм азотсодержащих соединений в снеге, во льду и подледной воде преобладает нитрат-ион (85 %). Высокие концентрации общего фосфора (до 10 мкг/л) в нижних слоях льда в системе «лед – вода» оказались сравнимы с их содержанием в подледной воде (А. В. Сабылина, О. И. Икко, Т. А. Ефремова).

В рамках международного проекта «Устойчивость под давлением: способность окружающей среды объектов природного и культурного наследия противостоять высокой рекреационной нагрузке» (СУПЕР, 2018–2020 гг.) сотрудниками лаборатории при участии специалистов группы исследования донных отложений оценено загрязнение микропластиком донных осадков особо охраняемых природных территорий: кижских шхер (музей-заповедник «Киж») и оз. Водлозеро (Водлозерский национальный парк).

В проекте «Лососевые рыбы и пресноводная жемчужница – экосистемные услуги и биоразнообразие рек на территории Зеленого пояса Фенноскандии» (SALMUS, 2019–2021 гг.) сотрудниками лаборатории дана гидрохимическая характеристика исследованных водных объектов на основе опубликованных и архивных данных (М. Б. Зобков, Н. Е. Галахина).

В проекте, финансируемом Российским научным фондом, «Распространение микропластика антропогенных полимеров (микропластика) и ассоциированных с ними тяжелых металлов и их соединений в крупных водных объектах суши (на примере Онежского озера)» (2019–2021 гг.) под руководством М. Б. Зобкова сотрудниками лаборатории при участии коллег из группы исследования донных отложений, лаборатории гидробиологии, Института геологии КарНЦ РАН и Морского гидрофизического института (г. Севастополь) проводятся исследования содержания и распространения микропластика в Онежском озере, а также процессов его взаимодействия с тяжелыми металлами и их влияния на водные организмы. В результате двухлетней работы получены новые данные о присутствии микропластиков в воде и донных осадках Онежского озера [Zobkov et al., 2020], определено их морфологическое строение и химический состав полимеров, оценены процессы сорбции-десорбции металлов

с поверхности частиц, процессы поедания частиц микропластика бентосным рачком *Gmelinoides fasciatus* Stebbing.

Большое внимание в лаборатории уделяется формированию баз данных. Информация о многолетних гидрохимических исследованиях водных объектов района Костомукши обобщена в базе данных «Гидрохимические показатели водных объектов района Костомукши Республики Карелия» (Свидетельство о регистрации базы данных RU 2018620628, 12.04.2018). Информация о составе атмосферных осадков, собранная в лаборатории, обобщена в базе данных «Химический состав атмосферных осадков, выпадающих на территории Карелии» (Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621387, 29.07.2019). Зарегистрированы гидрогеологические базы данных: «Гидрогеологические показатели и химический состав воды в скважинах Кондопожского и Медвежьегорского районов Карелии» (Свидетельство о регистрации базы данных RU 2016621052, 03.08.2016); «Режим скважин на месторождении «Марциальные воды» по результатам наблюдений 2018–2020 гг.» (Свидетельство о регистрации базы данных RU 2020620452, 11.03.2020). На основе этой цифровой информации в лаборатории ведется ГИС-проект «Подземные воды Карелии», позволяющий на качественно новом уровне решать задачи рационального и экологически безопасного использования подземных вод Карелии. Многолетние исследования позволили собрать информацию о практически всех скважинах, пробуренных на территории Карелии для хозяйственно-питьевого водоснабжения, уточнить координаты и характеристики действующих. Помимо скважин собраны сведения о родниках и колодцах на территории Карелии. К настоящему времени имеется информация о более чем 4000 объектов.

### **Перспективы дальнейшего развития гидрохимических исследований**

Среди приоритетных прикладных задач остаются по-прежнему актуальными вопросы разработки критериев оценки состояния крупнейших озер Европы – Онежского и Ладожского, оценки устойчивости их экосистем к антропогенному воздействию от точечных и рассеянных источников загрязнения. По-прежнему актуальной фундаментальной задачей является изучение процессов трансформации и состава органического вещества гумидной зоны. В связи с общей низкой минерализацией поверхностных вод содержание и состав органиче-

ского вещества в поверхностных водах региона претерпевают наибольшие изменения. Вместе с тем органическое вещество является одним из основных компонентов химического состава воды и неотъемлемой частью водных экосистем, участвует в обеспечении экологического равновесия в водоемах и водотоках: способствует поддержанию жизни, развитию и защите биоты. Гумусовые вещества являются основным компонентом аллохтонного органического вещества и вносят существенный вклад в общее содержание органического вещества поверхностных вод, в некоторых водных объектах их доля может достигать 90 % от общего содержания. Вместе с тем в природных водах широко распространено автохтонное вещество, основными компонентами которого являются углеводы, липиды, белки, нуклеиновые кислоты и другие соединения, образование и трансформация которых напрямую связаны с жизнедеятельностью водных организмов. Природные воды зачастую испытывают антропогенное загрязнение за счет попадания в них стойких трудноокисляемых органических веществ, в этой связи особо актуальными являются знания о процессах трансформации этих веществ. Знание кинетических и термодинамических характеристик их трансформации позволит осуществить нормирование органической и биогенной нагрузки на водоемы, оценить устойчивость водных объектов к антропогенному воздействию и ассимиляционную способность озер в отношении этих веществ. Особо актуальными являются вопросы оценки вклада взвешенных веществ в транспорт, трансформацию и захоронение химических элементов и их соединений, в том числе вклада антропогенных взвесей (включая микропластик) в этот процесс, а также проблемы оценки и нормирования их влияния на водные экосистемы.

Исследование Белого моря имеет важное научное значение в рамках программы изучения арктических морей. Интенсивное освоение водосбора Белого моря способствует формированию зон повышенного антропогенного воздействия, приводящего к существенным изменениям в экосистеме моря. Подробные исследования поступления органического вещества с речным стоком в Белое море проведены только для таких крупных рек, как Северная Двина, Мезень, Онега. До сих пор остается неясным, какова роль в данном процессе притоков карельского побережья. На них приходится 14 % общего стока в Белое море, что составляет 80 % от общего речного стока с территории РК. Гидрохимические исследования рек карельского побережья не проводились с 2014 г.,

в связи с чем возникает необходимость изучить их современное состояние, оценить вынос биогенных элементов и органического вещества с карельской территории и сопоставить полученные данные с известными ранее.

Приоритетным фундаментальным направлением является совершенствование научных подходов для углубленного изучения закономерностей формирования подземных вод и их роли в общих водных ресурсах и водном балансе. При исследовании взаимосвязи подземных и поверхностных вод наиболее эффективным оказывается комплексный подход, включающий изотопно-гидрохимические методы, позволяющий оценить влияние климатических вариаций на водные объекты, оценить условия формирования водоемов и речного стока, в том числе характеристику основных элементов водного баланса: прямого поверхностного стока, поступления снеговых талых и подземных вод, а также выяснить генезис подземных вод региона, поскольку даже пресные подземные воды могут отражать историю развития территории в геологическом прошлом, являясь палеогеографическим архивом. Важными задачами являются региональная оценка, прогноз и картирование естественных ресурсов подземных вод; оценка ресурсов подземных вод и их уязвимости к загрязнению; оценка современного состояния.

Перспективным направлением деятельности является развитие комплексных междисциплинарных исследований с институтами КарНЦ РАН, направленных на решение социальных и экологических проблем Карелии. Также перспективными являются межрегиональные и международные исследования, проводимые путем кооперации с другими академическими и отраслевыми институтами, высшими учебными заведениями и организациями водного профиля как внутри страны, так и за рубежом.

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИВПС КарНЦ РАН).*

## Литература

*Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П. А. Лозовика, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.*

*Богачев М. А., Бородулина Г. С. Связь аномалий гелия в подземных водах Карелии с тектоническими зонами // Связь поверхностных структур земной*

коры с глубинными: 14-я международная конференция. Петрозаводск, 2008. С. 62–63.

*Богачев М. А., Иешина А. В., Ильин В. А., Поленов И. К., Соколов С. Я.* Подземные воды флювиогляциальных отложений на примере района Талампа // Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1979. С. 123–136.

*Бородулина Г. С.* Гидроминеральные ресурсы Карелии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 12(8). С. 1462–1465.

*Бородулина Г. С.* Роль подземного стока в формировании химического состава поверхностных вод Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 108–116.

*Бородулина Г. С., Левичев М. А.* Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии // Горный журнал. 2019. № 3. С. 71–75. doi: 10.17580/gzh.2019.03.14

*Бородулина Г. С., Мазухина С. И.* Физико-химическое моделирование состава природных вод уран-ванадиевого месторождения // Геоэкология, 2002. № 6. С. 445–454.

*Бородулина Г. С., Светов С. А., Токарев И. В., Левичев М. А.* Роль высокоуглеродистых (шунгитсодержащих) пород в формировании состава подземных вод Онежской структуры // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 9. С. 72–87. doi: 10.17076/lim1259

*Бородулина Г. С., Токарев И. В., Левичев М. А.* Первому русскому курорту – 300 лет. История изучения Марциальных вод // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2019. № 4. С. 76–82. doi: 10.17116/kurort20199604176

*Бородулина Г. С., Игонин А. В.* Подземные воды Карелии // Горный журнал. 2012. № 5. С. 32–33.

*Васильева Е. П., Поляков Ю. К.* Каталог озер Карелии. Донные отложения. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1992. 122 с.

*Водные объекты города Петрозаводска.* Учебное пособие / Под ред. А. В. Литвиненко, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 31–42. URL: [http://resources.krc.karelia.ru/water/doc/papers/litvinenko\\_regerand\\_vodnye-objekty-2013.pdf](http://resources.krc.karelia.ru/water/doc/papers/litvinenko_regerand_vodnye-objekty-2013.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

*Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения.* Опыт карельско-финляндского сотрудничества // Ред. Н. Н. Филатов, А. В. Литвиненко, А. Сяркиоя, Р. Порттикиви, Т. И. Регеранд. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2006. 263 с.

*Вопросы рыбного хозяйства водоемов Карелии.* Труды КФ АН СССР. Вып. 13. Петрозаводск, 1958. 200 с.

*Галахина Н. Е., Лозовик П. А.* Изменение химического состава поверхностных вод в районе Корпангского месторождения железных руд // Труды КарНЦ РАН. 2018. № 9. С. 15–30. doi: 10.17076/lim733

*Долотов Ю. С., Коваленко В. Н., Лифшиц В. Х., Петров М. П., Платонов А. В., Прего Р., Ратькова Т. Н., Филатов Н. Н., Шевченко В. П.* О динамике вод и взвеси в эстуарии р. Кереть (Карельское побережье Белого моря) // Океанология. 2002. Т. 42, № 5. С. 765–774. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29317004> (дата обращения: 20.01.2021).

*Долотов Ю. С., Филатов Н. Н., Шевченко В. П., Немова Н. Н., Римский-Корсаков Н. А., Денисенко Н. В., Кутчева И. П., Бояринов П. М., Петров М. П., Лифшиц В. Х., Платонов А. В., Демина Л. Л., Кухарев В. И., Коваленко В. Н., Здоровеннов Р. Э., Ратькова Т. Н., Сергеева О. М., Новигатский А. Н., Паутова Л. А., Филиппова К. В., Нюттик Е.-М., Лоренцен Х.* Мониторинг приливно-отливных обстановок в эстуариях карельского побережья Белого моря // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 6. С. 670–688. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9175882> (дата обращения: 20.01.2021).

*Долотов Ю. С., Филатов Н. Н., Шевченко В. П., Петров М. П., Толстиков А. В., Здоровеннов Р. Э., Платонов А. В., Филиппов А. С., Бушуев К. Л., Кутчева И. П.* Комплексные исследования в Онежском заливе Белого моря и эстуарии реки Онега в летний период // Океанология. 2008. Т. 48, № 2. С. 276–289. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_9934586\\_88470895.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_9934586_88470895.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

*Егоров А. В.* Применение факторного анализа при изучении вертикальной гидрогеохимической зональности подземных вод // Исследования водных ресурсов Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1990. С. 41–43.

*Ефремова Т. А., Зобкова М. В.* Содержание, распределение и соотношение основных компонентов органического вещества в воде Онежского озера // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 9. doi: 10.17076/lim1017

*Зобков М. Б.* Применение функций желательности для анализа качества воды // Водные ресурсы. 2012. Т. 39, № 1. С. 63–70. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_17238490\\_88952920.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17238490_88952920.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

*Изменение режима Северного Выгозера и р. Нижний Выг под действием сточных вод Сегежского ЦБК и допустимый объем их сброса.* Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1986. 36 с.

*Карелия: энциклопедия: в 3 т. / Гл. ред. А. Ф. Титов.* Петрозаводск: ПетроПресс, 2007. Т. 1: А–Й. 400 с. URL: <https://vivaldi.nlr.ru/bv000070137/details> (дата обращения: 20.01.2021).

*Карелия: энциклопедия: в 3 т. / Гл. ред. А. Ф. Титов.* Петрозаводск: ПетроПресс, 2009. Т. 2: К–П. 464 с. URL: <https://vivaldi.nlr.ru/bv000070138/details> (дата обращения: 20.01.2021).

*Кондопожская губа Онежского озера в связи с ее загрязнением промстоками ЦБК.* Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1975. 338 с.

*Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Отв. ред. Н. Н. Филатов.* Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 375 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25893544> (дата обращения: 20.01.2021).

*Крутских Н. В., Бородулина Г. С., Казнина Н. М., Батова Ю. В., Рязанцев П. А., Ахметова Г. В., Новиков С. Г., Кравченко И. Ю.* Геоэкологические основы организации мониторинга северных урбанизированных территорий (на примере г. Петрозаводска)

// Труды КарНЦ РАН. 2016. № 12. С. 52–67. doi: 10.17076/есо361

Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_12952143\\_75266702.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12952143_75266702.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

Лозовик П. А., Бородулина Г. С., Карпечко Ю. В., Кондратьев С. А., Литвиненко А. В., Литвинова И. А. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 5. С. 35–52. doi: 10.17076/lim303

Лозовик П. А., Зобков М. Б., Бородулина Г. С., Токарев И. В. Оценка внешнего водообмена заливов озер по химическим показателям воды // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 1. С. 91–101. doi: 10.31857/S0321-059646191-101

Лозовик П. А., Платонов А. В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология. 2005. № 6. С. 527–532. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9149795> (дата обращения: 20.01.2021).

Лозовик П. А., Галахина Н. Е. Изменение химического состава воды системы р. Кенти в результате техногенного влияния // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 3. С. 21–35. doi: 10.17076/lim309

Лозовик П. А., Галахина Н. Е. Оценка загрязненности водных объектов и нормирование допустимой антропогенной нагрузки на них // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2019. № 6. С. 133–137. URL: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/602/519> (дата обращения: 20.01.2021).

Лозовик П. А., Зобкова М. В., Рыжаков А. В., Зобков М. Б., Ефремова Т. А., Сабылина А. В., Ефремова Т. В. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество природных вод: кинетические и термодинамические закономерности трансформации, количественный и качественный состав // ДАН. 2017. Т. 477, № 6. С. 728–732. doi: 10.7868/S086956521736021X

Лозовик П. А., Морозов А. К., Зобков М. Б., Духовичева М. Б., Осипова Л. А. Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 2. С. 225–237. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_9495438\\_51968819.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_9495438_51968819.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

Лозовик П. А., Рыжаков А. В., Сабылина А. В. Процессы трансформации, круговорота и образования веществ в природных водах // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 21–28. URL: [http://resources.krc.karelia.ru/transactions/doc/trudy2011/trudy\\_201104\\_021-28.pdf](http://resources.krc.karelia.ru/transactions/doc/trudy2011/trudy_201104_021-28.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

Лось Е. И. Некоторые закономерности формирования подземного стока Карелии (на примере озерно-речной системы Шуи) // Водные ресурсы. 1977. № 1. С. 106–118.

Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2010. С. 45–46.

Онежское озеро. Экологические проблемы / Под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. 293 с.

Органическое вещество и биогенные элементы в водах Карелии / Науч. ред. Е. П. Васильева, П. А. Лозовик. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1985. 214 с.

Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Матер. V Всерос. симп. с междунар. участием (Петрозаводск, 10–14 сентября 2012 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 465 с. URL: [http://elibrary.krc.karelia.ru/353/1/OV\\_PTZ12.pdf](http://elibrary.krc.karelia.ru/353/1/OV_PTZ12.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2001. 165 с.

Поверхностные воды озерно-речной системы Шуи в условиях антропогенного воздействия / Под ред. П. А. Лозовика, В. А. Фрейдлинга. Петрозаводск: Карелия, 1991. 218 с.

Поленов И. К., Иешина А. В. Сток подземных вод в Петрозаводскую губу Онежского озера // Петрозаводская губа Онежского озера. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1981. С. 156–159.

Поленов И. К., Устинов Г. Н. Оценка подземного питания рек Карелии методом расчленения их гидрографов // Сборник работ по гидрологии. Л., 1980. № 15. С. 53–61.

Политова Н. В., Филиппов А. С., Володин В. Д., Здоровеннов Р. Э., Зуйкова М. В., Зыкова О. А., Кравчишина М. Д., Потапова И. Ю., Таскаев В. Р., Толстиков А. В., Яковлев А. Е. Комплексные исследования системы Белого моря в рейсе научно-исследовательского судна «Эколог» летом 2013 г. // Океанология. 2014. Т. 54, № 6. С. 855–858. doi: 10.7868/S0030157414060094

Природные воды района Костомукшского железорудного месторождения (Северная Карелия). Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1985. 246 с.

Проблемы использования промысловых ресурсов Белого моря и внутренних водоемов Карелии. Вып. 1. М.; Л.: Наука, 1963. 250 с.

Ресурсы и геохимия подземных вод Карелии / Отв. ред. В. С. Самарина. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1987. 151 с.

Рыжаков А. В., Сабылина А. В. Фосфатазная активность и скорость оборота фосфора в воде Ладожского и Онежского озер // Экологическая химия. 2015. Т. 24, вып. 2. С. 111–115.

Рыжаков А. В., Зобкова М. В., Лозовик П. А. Особенности содержания и распределения форм фосфора в водоемах гумидной зоны // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 9. С. 33–45. doi: 10.17076/lim304

Рыжаков А. В., Кукконен Н. А., Лозовик П. А. Определение интенсивности аммонификации и нитрификации в природных водах кинетическим методом // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 1. С. 70–74. URL: <https://www.elibrary.ru/download/>

elibrary\_12989298\_77768838.pdf (дата обращения: 20.01.2021).

*Современное состояние водных объектов Республики Карелия* / Под ред. П. А. Лозовика, Т. П. Куликовой, Н. Н. Мартыновой. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. 188 с.

*Состояние водных объектов Республики Карелия* / Под ред. П. А. Лозовика, Т. П. Куликовой, Н. Н. Мартыновой. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 210 с.

Суриков С. Н., Бородулина Г. С., Иванова Т. Л., Чуйко М. А. Эколого-гидрогеохимическая карта восточной части Балтийского щита, масштаб 1:2500000 // Атлас геохимических карт России. Т. 3 / Ред. Е. А. Басков. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 119 с.

*Сямозеро и перспективы его рыбохозяйственного использования*. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. 266 с.

Токарев И. В., Бородулина Г. С., Блаженникова И. В., Авраменко И. А. Условия формирования железистых минеральных вод по изотопно-геохимическим данным (курорт «Марциальные воды», Карелия) // Геохимия. 2015. № 1. С. 88–91. doi: 10.7868/S0016752514110090

Толстикова А. В., Галахина Н. Е., Здоровеннов Р. Э. Гидрофизические и гидрохимические исследования в эстуарии реки Кемь в сентябре 2019 года // Труды КарНЦ РАН. 2020. № 4. С. 21–31. doi: 10.17076/lim1190

Труды КарНЦ РАН. Вып. 3. Природа национально-го парка «Паанаярви». Петрозаводск, 2003. 182 с.

Труды Сямозерской комплексной экспедиции. Т. 1. Петрозаводск, 1956. 238 с.

Феоктистов В. М., Тимакова Т. М., Калугин А. И. Влияние Костомукшского ГОКа на водную систему Кенти-Кенто // Водные ресурсы Карелии и экология. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 1992. С. 63–78.

*Характеристика химического состава и качества воды Выгозерского водохранилища* // Водные ресурсы Выгозерского водохранилища и их использование. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1978. 413 с.

Харкевич Н. С., Фрейндлинг В. А., Басов М. И. Современный гидрологический и гидрохимический режим вод бассейна р. Кенти: опер.-информ. материалы. Петрозаводск, 1980. С. 25–28.

Шевченко В. П., Здоровеннов Р. Э., Кравчишина М. Д., Кутчева И. П., Новигатский А. Н., Политова Н. В., Потапова И. Ю., Приходько Д. И., Сласти-

на Ю. Л., Теканова Е. В., Толстикова А. В., Филиппов А. С., Чульцова А. Л., Щербаков К. А. Системные исследования Белого моря в период летней межени 2009 г. в рейсе научно-исследовательского судна «Эколог» // Океанология. 2010. Т. 50, № 4. С. 666–670. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_17238156\\_78010537.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_17238156_78010537.pdf) (дата обращения: 20.01.2021).

*Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма*. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2005. 110 с.

*Экосистема Онежского озера и тенденция ее изменения*. Л.: Наука, 1990. 264 с.

Andronikov A. V., Novak M., Kram P., Sebek O., Andronikova I. E., Efremenko N. A., Borodulina G. S., Subetto D. A., Stepanova M., Antalova E., Levichev M. A., Zobkova M. V., Chesalina G. L. Behaviour of Cr in runoff from two catchments underlain by felsic bedrock // Hydrol. Sci. J. 2020. doi: 10.1080/02626667.2020.1836373

Borodulina G., Trenin V. Groundwater discharge to some lakes of Karelia // Submarine groundwater. Atlanta, USA: CRC Press, 2006. P. 354–360.

Salminen R., Chekushin V., Tenhola M., Bogatyrev I., Glavatskikh S. P., Fedotova E., Gregorauskiene V., Kashulina G., Niskavaara H., Polischuok A., Rissanen K., Selenok L., Tomilina O., Zhdanova L. Geochemical Atlas of the Eastern Barents Region. Amsterdam: Elsevier B. V., 2004. 548 p.

Shevchenko V. P., Dolotov Y. S., Filatov N. N., Alexeeva T. N., Filippov A. S., Nöthig E.-M., Novigatsky A. N., Pautova L. A., Platonov A. V., Politova N. V., Rat'kova T. N., Stein R. Biogeochemistry of the Kem' River estuary, White Sea (Russia) // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2005. No. 9. P. 57–66. doi: 10.5194/hess-9-57-2005

Tokarev I. V., Borodulina G. S., Subetto D. A., Voronyuk G. Y., Zobkov M. B. Fingerprint of the geographic and climate evolution of the Baltic – White Sea region in the Late Pleistocene-Holocene in groundwater stable isotopes (<sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O) // Quater. Intern. 2019. Vol. 524. P. 76–85. doi: 10.1016/j.quaint.2019.03.022

Zobkov M., Belkina N., Kovalevski V., Zobkova M., Efremova T., Galakhina N. Microplastic abundance and accumulation behavior in Lake Onego sediments: a journey from the river mouth to pelagic waters of the large boreal lake // J. Environ. Chem. Eng. 2020. Vol. 8, no. 5. P. 104367. doi: 10.1016/j.jece.2020.104367

Поступила в редакцию 03.02.2021

## References

*Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike* [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice]. P. A. Lozovik, N. A. Efremenko (eds.). St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. 270 p.

Bogachev M. A., Borodulina G. S. Svyaz' anomalii geliya v podzemnykh vodakh Karelii s tektonicheskimi zonami [Relationship between helium anomalies in groundwaters of Karelia and tectonic zones]. *Svyaz' poverkhnostnykh struktur zemnoi kory s glubinnymi: 14-ya mezhdunar. konf.* [Relationship between the surface and deep structures of the Earth's crust: Pro-

ceed. 14<sup>th</sup> int. conf.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. P. 62–63.

Bogachev M. A., Ieshina A. V., Il'in V. A., Polenov I. K., Sokolov S. Ya. Podzemnye vody flyuvioglyatsial'nykh otlozhenii na primere raiona Talaya lamba [Underground waters of fluvioglacial deposits on the example of the Talaya lamba region]. *Vodnye resursy Karelii i ikh ispol'zovanie* [Water resources of Karelia and their use]. Petrozavodsk: Kar. fil. AN SSSR, 1979. P. 123–136.

Borodulina G. S. Gidromineral'nye resursy Karelii [Hydromineral resources of Karelia]. *Mezhdunarod.*

zhurn. priklad. i fund. issled. [Int. J. Appl. Fund. Research]. 2015. No. 12–8. P. 1462–1465.

Borodulina G. S. Rol' podzemnogo stoka v formirovani khimicheskogo sostava poverkhnostnykh vod Karelii [Role of groundwater flow to lakes of the Onega watershed in formation of the chemical composition of lake water]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 108–116.

Borodulina G. S., Levichev M. A. Resursy i geokhimiya podzemnykh vod Karelii [Resources and geochemistry of groundwater in Karelia]. *Gornyi zhurnal* [Ore & Metals]. 2019. No. 3. P. 71–75.

Borodulina G. S., Mazukhina S. I. Fiziko-khimicheskoe modelirovanie sostava prirodnykh vod uran-vanadievogo mestorozhdeniya [Physicochemical modeling of chemical compound of natural waters of uranium-vanadium formation]. *Geoekologiya* [Geoecology]. 2002. No. 6. P. 445–454.

Borodulina G. S., Svetov S. A., Tokarev I. V., Levichev M. A. Rol' vysokouglerodistykh (shungitsoderzhashchikh) porod v formirovani sostava podzemnykh vod Onezhskoi struktury [The role of high-carbon (shungite-bearing) rocks in forming the composition of subsurface water in the Onega structure]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2020. No. 9. P. 72–87. doi: 10.17076/lim1259

Borodulina G. S., Tokarev I. V., Levichev M. A. Perвому russkomu kurortu – 300 let. Istoriya izucheniya Martsial'nykh vod [300 years of the first Russian resort. History of studies of Marcial Waters]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kul'tury* [Problems of Balneology, Physiotherapy and Exercise Therapy]. 2019. No. 4. P. 76–82. doi: 10.17116/kurort2019604176

Borodulina G. S., Igonin A. V. Podzemnye vody Karelii [Groundwater of Karelia]. *Gornyi zhurnal* [Ore & Metals]. 2012. No. 5. P. 32–33. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17831398> (accessed: 20.01.2021).

Dolotov Yu. S., Kovalenko V. N., Lifshits V. Kh., Petrov M. P., Platonov A. V., Filatov N. N., Prego R., Rat'kova T. N., Shevchenko V. P. On the dynamics of water and suspension in the Keret' river estuary (Karelian coast of the white sea). *Oceanology*. 2002. Vol. 42, no. 5. P. 731–740. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13390524> (accessed: 20.01.2021).

Dolotov Yu. S., Filatov N. N., Boyarinov P. M., Petrov M. P., Lifshitz V. Kh., Platonov A. V., Kukharev V. I., Kovalenko V. N., Zdorovennov R. E., Shevchenko V. P., Rimskii-Korsakov N. A., Demina L. L., Rat'kova T. N., Sergeeva O. M., Novigatskii A. N., Pautova L. A., Filipieva K. V., Nemova N. N., Denisenko N. V., Kutcheva I. P., Nyutik E.-M., Lorentsen X. Monitoring tidal conditions in estuaries of the Karelian coast of the white sea. *Water Resources*. 2005. Vol. 32, no. 6. P. 611–628. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13490681> (accessed: 20.01.2021).

Dolotov Yu. S., Filatov N. N., Petrov M. P., Tolstikov A. V., Zdorovennov R. E., Platonov A. V., Shevchenko V. P., Filippov A. S., Bushuev K. L., Kutcheva I. P., Denisenko N. V., Stein R., Saukel C. Multidisciplinary studies in Onega bay of the White Sea and the estuary of the Onega river during the summer period. *Oceanology*. 2008. Vol. 48, no. 2. P. 255–267. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13577185>

(accessed: 20.01.2021).

Egorov A. B. Primenenie faktornogo analiza pri izuchenii vertikal'noi gidrogeokhimicheskoi zonal'nosti podzemnykh vod [Application of factor analysis for assessment of groundwater vertical hydrogeochemical zonation]. *Issledovaniya vodnykh resursov Karelii* [Exploring water resources in Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1990. P. 41–43.

Efremova T. A., Zobkova M. V. Soderzhanie, raspredelenie i sootnoshenie osnovnykh komponentov organicheskogo veshchestva v vode Onezhskogo ozera [Concentration, distribution and ratio of the main organic matter components in Lake Onego water]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2019. No. 9. doi: 10.17076/lim1017

Ekologicheskie problemy osvoeniya mestorozhdeniya Srednyaya Padma [Ecological problems of the development of the Srednyaya Padma formation]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. 110 p.

Ekosistema Onezhskogo ozera i tendentsiya ee izmeneniya [Ecosystem of Lake Onego and tendencies in its alteration]. Leningrad: Nauka, 1990. 264 p.

Feoktistov V. M., Timakova T. M., Kalugin A. I. Vliyanie Kostomukshskogo GOKa na vodnuyu sistemu Kenti-Kento [The impact of Kostomuksha ore mining site on the Kenti-Kento river system]. *Vodnye resursy Karelii i ekologiya* [Water resources of Karelia and ecology]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1992. P. 63–78.

Galakhina N. E., Lozovik P. A. Izmenenie khimicheskogo sostava poverkhnostnykh vod v raione Korpangskogo mestorozhdeniya zheleznykh rud [Changes in surface water chemical composition at Korpangskoye iron ore deposit]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2018. No. 9. P. 15–30. doi: 10.17076/lim733

Izmenenie rezhima Severnogo Vygozera i r. Nizhnii Vyg pod deistviem stochnykh vod Segezhsckogo TsBK i dopustimyi ob'em ikh sbrosa [Alteration of Severnoe Vygozero and river Nizhnii Vyg regime under the impact of wastewaters of Segezhsckii pulp and paper mill and allowable volume of their discharge]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1986. 36 p.

Kareliya: entsiklopediya: v 3 t. [Karelia: encyclopedia. Vol. 1]. Ed. A. F. Titov. Petrozavodsk: PetroPress, 2007. Vol. 1: A–I. 400 p. URL: <https://vivaldi.nlr.ru/bv000070137/details> (accessed: 20.01.2021).

Kareliya: entsiklopediya: v 3 t. [Karelia: encyclopedia. Vol. 2]. Ed. A. F. Titov. Petrozavodsk: PetroPress, 2009. Vol. 2: K–P. 464 p. URL: <https://vivaldi.nlr.ru/bv000070138/details> (accessed: 20.01.2021).

Kharakteristika khimicheskogo sostava i kachestva vody Vygozerskogo vodokhranilishcha [Description of chemical compound and water quality of the Vygozero water reservoir]. *Vodnye resursy Vygozerskogo vodokhranilishcha i ikh ispol'zovanie* [Water resources of the Vygozero reservoir and their use]. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR, 1978. 413 p.

Kharkevich N. S., Freindling V. A., Basov M. I. Sovremennyy gidrologicheskii i gidrokhimicheskii rezhim vod basseina r. Kenti: oper.-inform. materialy [Current hydrological and hydrochemical regime of waters in the Kenti river basin: operational information]. Petrozavodsk, 1980. P. 25–28.

Kondopozhskaya guba Onezhskogo ozera v svyazi s ee zagryazneniem promstokami TSBK [Kondopoga Bay of Lake Onega and its pollution by industrial waste from the Kondopoga Pulp and Paper Mill]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1975. 338 p.

Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticeskikh i antropogennykh vozdeistviyakh [The largest lakes-reservoirs of the north-west European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. 375 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25893544> (accessed: 20.01.2021).

Krutskikh N. V., Borodulina G. S., Kaznina N. M., Batova Yu. V., Ryazantsev P. A., Akhmetova G. V., Novikov S. G., Kravchenko I. Yu. Geoekologicheskie osnovy organizatsii monitoringa severnykh urbanizirovannykh territorii (na primere g. Petrozavodsk) [Geoecological basis for setting up the monitoring of urbanized areas in the north (the example of Petrozavodsk)]. *Trudy KarNTs RAS* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 12. P. 52–67. doi: 10.17076/eco361

Lozovik P. A., Borodulina G. S. Nitrogen compounds in the surface and subsurface waters of Karelia. *Water Resources*. 2009. Vol. 36, no. 6. C. 672–682. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_12952143\\_75266702.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_12952143_75266702.pdf) (accessed: 20.01.2021).

Lozovik P. A., Borodulina G. S., Karpechko Yu. V., Kondrat'ev S. A., Litvinenko A. V., Litvinova I. A. Biogennaya nagruzka na Onezhskoe ozero po dannym naturnykh nablyudenii [Nutrient load on lake Onego according to field data]. *Trudy KarNTs RAS* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 5. P. 35–52. doi: 10.17076/lim303

Lozovik P. A., Zobkov M. B., Borodulina G. S., Tokarev I. V. Assessing external water exchange of lake bays by water chemistry characteristics. *Water Resources*. 2019. Vol. 46, no. 1. P. 94–102. doi: 10.1134/S0097807818050123

Lozovik P. A., Platonov A. V. Opredelenie regional'nykh predel'no dopustimyykh kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv na primere Karel'skogo gidrograficheskogo raiona [Determination of regional maximum permissible concentrations of pollutants by the example of Karelia hydrographic region]. *Geoekologiya* [Geoecology]. 2005. No. 6. P. 527–532. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9149795> (accessed: 20.01.2021).

Lozovik P. A., Galakhina N. E. Izmenenie khimicheskogo sostava vody sistemy r. Kenti v rezul'tate tekhnogennogo vliyaniya [Changes in the chemical composition of the Kenti river system water under human impact]. *Trudy KarNTs RAS* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 3. P. 21–35. doi: 10.17076/lim309

Lozovik P. A., Galakhina N. E. Otsenka zagryaznennosti vodnykh ob'ektov i normirovanie dopustimoi antropogennoi nagruzki na nikh [Evaluation of the degree of water bodies pollution and normalization of the permissible anthropogenic load on them]. *Vestnik Moskovskogo univ. Ser. 5: Geografiya* [Bull. Moscow St. Univ. Ser. 5, Geography]. 2019. No. 6. P. 133–137. URL: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/article/view/602/519> (accessed: 20.01.2021).

Lozovik P. A., Zobkova M. V., Ryzhakov A. V., Zobkov M. B., Efremova T. A., Sabylina A. V., Efremova T. V. Allochthonoe i avtochthonoe organicheskoe veshchestvo prirodnykh vod: kineticheskie i termodinamicheskie zakonomernosti transformatsii, kolichestvennyi i kachestvennyi sostavy [Allochthonous and autochthonous organic matter of natural waters: kinetic and thermodynamic laws of transformation, quantitative and qualitative composition]. *DAN* [Dokl. Acad. Sci.]. 2017. Vol. 477, no. 6. P. 728–732. doi: 10.7868/S086956521736021X

Lozovik P. A., Morozov A. K., Zobkov M. B., Dukhovicheva T. A., Osipova L. A. Allochthonous and autochthonous organic matter in surface waters in Karelia. *Water Resources*. 2007. Vol. 34, no. 2. P. 204–216. doi: 10.1134/S009780780702011X

Lozovik P. A., Ryzhakov A. V., Sabylina A. V. Protssesy transformatsii, krugovorota i obrazovaniya veshchestv v prirodnykh vodakh [Processes of matter transformation, cycles and formation in natural waters]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 21–28. URL: [http://resources.krc.karelia.ru/transactions/doc/trudy2011/trudy\\_201104\\_021-28.pdf](http://resources.krc.karelia.ru/transactions/doc/trudy2011/trudy_201104_021-28.pdf) (accessed: 20.01.2021).

Los' E. I. Nekotorye zakonomernosti formirovaniya podzemnogo stoka Karelii (na primere ozerno-rechnoi sistemy Shui) [Some regularities in groundwater discharge in Karelia (Shuya lake-river system as an example)]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 1977. No. 1. P. 106–118.

Ozera Karelii. Spravochnik [Lakes of Karelia: a catalogue]. Ed. N. N. Filatova, V. I. Kukhareva. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. 464 p.

Onezhskoe ozero. Atlas [Lake Onego. Atlas]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. P. 45–46.

Onezhskoe ozero. Ekologicheskie problemy [Lake Onego. Environmental problem]. Eds. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1999. 293 p.

Organicheskoe veshchestvo i biogennyye elementy v vodakh Karelii [Organic matter and nutrients in waters of Karelia]. Ed. E. P. Vasil'eva, P. A. Lozovik. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1985. 214 p.

Organicheskoe veshchestvo i biogennyye elementy vo vnutrennikh vodoemakh i morskikh vodakh: Mater. V Vseros. simp. s mezhdunar. uchastiem (Petrozavodsk, 10–14 sent. 2012 g.) [Organic matter and nutrients in surface and marine waters. Proceed. V symp. with int. part.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. 465 p. URL: [http://elibrary.krc.karelia.ru/353/1/OV\\_PTZ12.pdf](http://elibrary.krc.karelia.ru/353/1/OV_PTZ12.pdf) (accessed: 20.01.2021).

Poverkhnostnye vody Kaleval'skogo raiona i territorii Kostomukshi v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya [Inland waters of the Kalevala Region and area of Kostomuksha under the anthropogenic impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. 165 p.

Poverkhnostnye vody ozerno-rechnoi sistemy Shui v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya [Surface waters of the Shuya river-lake system under the anthropogenic impact]. Eds. P. A. Lozovik, V. A. Freindling. Petrozavodsk: Kareliya, 1991. 218 p.

Polenov I. K., Ieshina A. V. Stok podzemnykh vod v Petrozavodskuyu gubu Onezhskogo ozera [Ground water discharge in Petrozavodsk bay of Lake Onego].

*Petrozavodskaya guba Onezhskogo ozera* [Petrozavodsk bay of Lake Onego]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1981. P. 156–159.

Polenov I. K., Ustinov G. N. Otsenka podzemnogo pitaniya rek Karelii metodom raschleneniya ikh gidrografov [Assessment of groundwater discharge of rivers of Karelia by hydrograph separation]. *Sbornik rabot po gidrologii* [Collection of works on hydrology]. Leningrad, 1980. No. 15. P. 53–61.

Politova N. V., Filippov A. S., Zuikova M. V., Zykova O. A., Kravchishina M. D., Taskaev V. R., Volodin V. D., Zdorovenov R. E., Potapova I. Yu., Tolstikov A. V., Yakovlev A. E. Multidisciplinary investigations of the White Sea system in the expedition of the r/v Ekolog in the summer of 2013. *Oceanology*. 2014. Vol. 54, no. 6. P. 808–811. doi: 10.1134/S0001437014060095

*Prirodnye vody raiona Kostomukshskogo zhelezorudnogo mestorozhdeniya (Severnaya Kareliya)* [Natural waters of Kostomuksha ore formation (northern Karelia)]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1985. 246 p.

*Problemy ispol'zovaniya promyslovykh resursov Belogo morya i vnutrennikh vodoemov Karelii* [Challenges in resource use of the White Sea and inland waters of Karelia]. Iss. 1. Moscow; Leningrad: Nauka, 1963. 250 p.

*Resursy i geokhimiya podzemnykh vod Karelii* [Resources and geochemistry of groundwater in Karelia]. Ed. V. S. Samarin. Petrozavodsk, 1987. 151 p.

Ryzhakov A. V., Sabylina A. V. Fosfataznaya aktivnost' i skorost' oborota fosfora v vode Ladozhskogo i Onezhskogo ozer [Phosphatase activity and rate of phosphorus turnover in water of Lakes Ladoga and Onego]. *Ekol. khimiya* [Environ. Chemistry]. 2015. Vol. 24, iss. 2. P. 111–115.

Ryzhakov A. V., Zobkova M. V., Lozovik P. A. Osobennosti sodержaniya i raspredeleniya form fosfora v vodoemakh gumidnoi zony [Patterns in the concentration and distribution of phosphorus forms in water bodies of the humid zone]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 9. P. 33–45. doi: 10.17076/lim304

Ryzhakov A. V., Kukkonen N. A., Lozovik P. A. Determination of the rate of ammonification and nitrification in natural water by kinetic method. *Water Resources*. 2010. Vol. 37, no. 1. P. 70–74. doi: 10.1134/S0097807810010069

Shevchenko V. P., Ananyev R. A., Gusakova A. I., Dmitrevskii N. N., Kravchishina M. D., Mishin A. V., Politova N. V., Filippov A. S., Potakhin M. S., Tolstikov A. V., Chul'tsova A. L. Studies of the white sea system from onboard the r/v ecology in July 2010. *Oceanology*. 2011. Vol. 51, no. 6. P. 1074–1077. doi: 10.1134/S0001437011060154

*Sovremennoe sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya* [Current state of water bodies of Karelia]. Eds. P. A. Lozovik, T. P. Kulikova, N. N. Martynova. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. 188 p.

*Sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya* [The state of inland waters of Karelia]. Eds. P. A. Lozovik, T. P. Kulikova, N. N. Martynova. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 210 p.

Surikov S. N., Borodulina G. S., Ivanova T. L., Chuiko M. A. Ekologo-gidrogeokhimiya kartata vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita, masshtab

1:2500000 [Ecological and geochemical map of eastern part of Baltic crystalline shield. Scale 1:2500000]. *Atlas geokhimiicheskikh kart Rossii. T. 3* [Geochemical maps of Russia. Atlas. Vol. 3]. Ed. E. A. Baskov. St. Petersburg: VSEGEI, 2007. 119 p.

*Syamozero i perspektivy ego rybokhozyaistvennogo ispol'zovaniya* [Syamozero and perspectives of its use for fishery]. Petrozavodsk: AN SSSR, 1977. 266 p.

Tokarev I. V., Borodulina G. S., Blazhennikova I. V., Avramenko I. A. Usloviya formirovaniya zhelezistykh mineral'nykh vod po izotopno-geokhimiicheskim dannym (kurort "Martsial'nye Vody", Kareliya) [Conditions of formation of ferriferous mineral waters based on isotopic and geochemical data (Marcial waters resort, Karelia)]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 2015. No. 1. P. 88–91. doi: 10.7868/S0016752514110090

Tolstikov A. V., Galakhina N. E., Zdorovenov R. E. Hidrofizicheskie i gidrokhimiicheskie issledovaniya v estuarii reki Kem' v sentyabre 2019 goda [Hydrophysical and hydrochemical studies in the Kem river estuary in September 2019]. *Trudy KarNTs RAS* [Trans. KarRC RAS]. 2020. No. 4. P. 21–31. doi: 10.17076/lim1190

*Trudy KarNTs RAS. Vyp. 3. Priroda natsional'nogo parka "Paanayarvi"* [Transactions of KarRC RAS. Nature of the Paanayarvi National Park]. Petrozavodsk, 2003. 182 p.

*Trudy Syamozerskoi kompleksnoi ekspeditsii* [Materials of the interdisciplinary Syamozero expedition]. Vol. 1. Petrozavodsk, 1956. 238 p.

Vasil'eva E. P., Polyakov Yu. K. Katalog ozer Karelii. Donnye otlozheniya [Lakes of Karelia: a catalogue. Bottom deposits]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1992. 122 p.

*Vodnye ob'ekty goroda Petrozavodsk. Uchebnoe posobie* [Waterbodies of Petrozavodsk. A study guide]. Eds. A. V. Litvinenko, T. I. Reherand. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. P. 31–42. URL: [http://resources.krc.karelia.ru/water/doc/papers/litvinenko\\_regerand\\_vodnye-obiekty-2013.pdf](http://resources.krc.karelia.ru/water/doc/papers/litvinenko_regerand_vodnye-obiekty-2013.pdf) (accessed: 20.01.2021).

*Vodnye resursy Respubliki Kareliya i puti ikh ispol'zovaniya dlya pit'evogo vodosnabzheniya*. Opyt karel'sko-finlyandskogo sotrudnichestva [Water resources of republic of Karelia and their use for drinking water supply. Experience of Karelian-Finnish cooperation]. Eds. N. N. Filatov, A. V. Litvinenko, A. Syarkioya, R. Porttikivi, T. I. Reherand. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. 263 p. URL: [http://elibrary.krc.karelia.ru/325/1/water\\_resource\\_RK.pdf](http://elibrary.krc.karelia.ru/325/1/water_resource_RK.pdf) (accessed: 20.01.2021).

*Voprosy rybnogo khozyaistva vodoemov Karelii. Trudy KF AN SSSR. Vyp. 13.* [Issues of fishery in the water bodies of Karelia. Transactions of Karelian Branch of AS USSR. Vol. 13]. Petrozavodsk, 1958. 200 p.

Zobkov M. B. Application of desirability functions for water quality analysis. *Water Resources*. 2012. Vol. 39, no. 1. P. 90–97. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17970979> (accessed: 20.01.2021).

Andronikov A. V., Novak M., Kram P., Sebek O., Andronikova I. E., Efremenko N. A., Borodulina G. S., Subetto D. A., Stepanova M., Antalova E., Levichev M. A., Zobkova M. V., Chesalina G. L. Behaviour of Cr in runoff from two catchments underlain by felsic bedrock. *Hydrol. Sci. J.* 2020. doi: 10.1080/02626667.2020.1836373

Borodulina G., Trenin V. Groundwater discharge to some lakes of Karelia. *Submarine groundwater*. Atlanta, USA: CRC Press, 2006. P. 354–360.

Salminen R., Chekushin V., Tenhola M., Bogatyrev I., Glavatskikh S. P., Fedotova E., Gregorauskiene V., Kashulina G., Niskavaara H., Polischuok A., Rissanen K., Selenok L., Tomilina O., Zhdanova L. Geochemical Atlas of the Eastern Barents Region. Amsterdam: Elsevier B. V., 2004. 548 p.

Shevchenko V. P., Dolotov Y. S., Filatov N. N., Alexe-eva T. N., Filippov A. S., Nöthig E.-M., Novigatsky A. N., Pautova L. A., Platonov A. V., Politova N. V., Rat'kova T. N., Stein R. Biogeochemistry of the Kem' River estuary, White Sea (Russia). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2005. No. 9. P. 57–66. doi: 10.5194/hess-9-57-2005

Tokarev I. V., Borodulina G. S., Subetto D. A., Voronyuk G. Y., Zobkov M. B. Fingerprint of the geographic and climate evolution of the Baltic – White Sea region in the Late Pleistocene-Holocene in groundwater stable isotopes ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ ). *Quater. Intern.* 2019. Vol. 524. P. 76–85. doi: 10.1016/j.quaint.2019.03.022

Zobkov M., Belkina N., Kovalevski V., Zobkova M., Efremova T., Galakhina N. Microplastic abundance and accumulation behavior in Lake Onego sediments: a journey from the river mouth to pelagic waters of the large boreal lake. *J. Environ. Chem. Eng.* 2020. Vol. 8, no. 5. P. 104367. doi: 10.1016/j.jece.2020.104367

Received February 03, 2021

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Зобков Михаил Борисович**

руководитель лаб. гидрохимии и гидрогеологии, к. т. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: duet@onego.ru

### **Сабылина Альбина Васильевна**

старший научный сотрудник лаб. гидрохимии  
и гидрогеологии, к. х. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: vos-olga-zenia@yandex.ru

### **Бородулина Галина Сергеевна**

старший научный сотрудник лаб. гидрохимии  
и гидрогеологии, к. г.-м. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: bor6805@yandex.ru

### **Рыжаков Александр Вадимович**

старший научный сотрудник лаб. гидрохимии  
и гидрогеологии, к. х. н., доцент  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: ryzhakov@nwpi.krc.karelia.ru  
тел.: (8142) 576541

### **Галахина Наталия Евгеньевна**

научный сотрудник лаб. гидрохимии  
и гидрогеологии, к. х. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: kulakovanata@mail.ru

## CONTRIBUTORS:

### **Zobkov, Mikhail**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: duet@onego.ru

### **Sabylina, Albina**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: vos-olga-zenia@yandex.ru

### **Borodulina, Galina**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: bor6805@yandex.ru

### **Ryzhakov, Alexander**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: ryzhakov@nwpi.krc.karelia.ru  
tel.: (8142) 576541

### **Galakhina, Natalia**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: kulakovanata@mail.ru

**Ефременко Наталья Анатольевна**

главный химик лаб. гидрохимии и гидрогеологии  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: efremna@mail.ru

**Ефремова Татьяна Алексеевна**

младший научный сотрудник, к. г. н.  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: efremova@nwpi.krc.karelia.ru

**Зобкова Мария Валентиновна**

младший научный сотрудник лаб. гидрохимии  
и гидрогеологии  
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,  
Федеральный исследовательский центр  
«Карельский научный центр РАН»  
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185030  
эл. почта: rincalika21@yandex.ru

**Efremenko, Natalia**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: efremna@mail.ru

**Efremova, Tatyana**

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: efremova@nwpi.krc.karelia.ru

**Zobkova, Maria**

Northern Water Problems Institute,  
Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences  
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: rincalika21@yandex.ru