

УДК 061.62:556

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИВПС КарНЦ РАН (ОБЗОР)

**Н. Н. Филатов, Н. А. Белкина, Г. С. Бородулина, М. Б. Зобков,
Н. М. Калинкина, Л. Е. Назарова, А. В. Литвиненко, Т. И. Регеранд,
А. В. Рыжаков, Е. В. Теканова, А. В. Толстикова**

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

Приводятся основные результаты исследований ИВПС КарНЦ РАН за последние 30 лет, выполненные в соответствии с основными направлениями деятельности института. Представлен ряд сведений об исследованиях по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации, работы по российским и международным грантам и прикладным исследованиям. Даны сведения о результатах изучения Белого моря, Ладожского и Онежского озер, озерно-речных систем, подземных вод. Приведена краткая информация о важных практических разработках, выполненных по заданию федеральных и региональных органов, министерств, ведомств, предприятий и организаций, по программе обеспечения питьевой водой населения, а также разработке и внедрению информационных систем для использования их в соответствующих организациях. Даны представления о результатах исследований, выполненных ИВПС совместно с институтами и университетами России и зарубежных стран, в частности, по изучению водных ресурсов, качества вод, экосистем Белого моря, крупнейших озер России, а также по исследованию подледного режима озер Севера РФ.

Ключевые слова: ИВПС КарНЦ РАН; Белое море; Ладожское озеро; Онежское озеро; озерно-речные системы; подземные воды.

N. N. Filatov, N. A. Belkina, G. S. Borodulina, M. B. Zobkov, N. M. Kalinkina, L. E. Nazarova, A. V. Litvinenko, T. I. Regerand, A. V. Ryzhakov, E. V. Tekanova, A. V. Tolstikov. MAJOR RESULTS OF BASIC AND APPLIED RESEARCH AT THE NORTHERN WATER PROBLEMS INSTITUTE KarRC RAS (A REVIEW)

The review reports the main results of the studies carried out by NWPI KarRC RAS in the institute's major research areas over the past 30 years. Information is provided on some studies in national priority R&D areas, and on the activities implemented under regional and international grant-funded projects and applied initiatives. Some results of research on the White Sea, Lakes Ladoga and Onego, lake-river systems, and groundwater are reported. A summary is given of important practical developments ordered by federal and regional ministries and departments, companies and organizations, and implemented under the public drinking water supply programme. The information systems designed and implemented for these developments to be used by relevant organization are introduced. An overview of the results of studies carried out by NWPI collaboratively

with Russian and foreign institutes and universities is given, namely regarding research on water resources, water quality, White Sea ecosystems, Russia's largest lakes, and under-ice conditions in North Russian lakes.

Key words: NWPI KarRC RAS; White Sea; Lake Ladoga; Lake Onego; lake-river systems; groundwater.

Введение

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук (далее ИВПС КарНЦ РАН) создан в соответствии с постановлением Президиума РАН № 142 от 14 мая 1991 г. на базе одного из старейших подразделений Карельского филиала АН СССР – Отдела водных проблем, образованного в 1946 г. на базе сектора гидрологии и водного хозяйства. История отдела и сектора подробно представлена как на сайте ИВПС КарНЦ РАН (<http://water.krc.karelia.ru/section.php?plang=r&id=1914>), так и в ряде публикаций. Свою научно-исследовательскую деятельность институт осуществлял в соответствии с Уставом и программами фундаментальных научных исследований государственных академий наук, утверждаемыми распоряжениями правительства РФ. Среди них: динамика и охрана подземных и поверхностных вод, ледники, проблемы водообеспечения; Мировой океан; эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов; научные основы рационального природопользования и другие.

Главная цель деятельности ИВПС КарНЦ РАН состояла в проведении фундаментальных научных исследований и прикладных разработок в области гидрологии и смежных естественных дисциплин и прикладных исследований, связанных с изучением, рациональным использованием и охраной водных ресурсов. Уставом были определены четыре главных научных направления, охватывающих широкий спектр актуальных проблем наук о Земле по разделам гидрология, география, гидробиология и охрана окружающей среды. Эти направления сформулированы следующим образом:

- оценка состояния водных ресурсов и водно-экологического потенциала территории и развитие научных основ управления водными ресурсами Европейского Севера России, включая их охрану, использование и восстановление;
- выявление фундаментальных закономерностей функционирования озерно-речных систем и их изменчивости под влиянием природных и антропогенных факторов;

- научное обоснование природоохранных и восстановительных мероприятий, совершенствование методов управления водными ресурсами и прогнозирования их изменений;

- анализ устойчивости водных объектов к антропогенным воздействиям (целлюлозно-бумажной, металлургической и горнодобывающей промышленности, лесных вырубок, сельскохозяйственной и лесной мелиорации, нефтяных и газовых промыслов) в условиях Европейского Севера России.

Представить все фундаментальные и прикладные результаты в одной статье невозможно, поскольку за 30 лет ИВПС КарНЦ РАН направил в ООФАиГ, ОНЗ РАН, а затем в ФАНО и Министерство науки и высшего образования РФ более 100 наиболее значимых результатов и опубликовал более 3 тыс. статей и 50 монографий, в которых приведены важные результаты исследований. В настоящей публикации дано представление о некоторых важных результатах исследований, соответствующих основным направлениям научной деятельности, определенным Уставом ИВПС КарНЦ РАН. Многие результаты получены благодаря тесному сотрудничеству с другими научными организациями России – институтами КарНЦ РАН, ИНОЗ, ИВП, ИО, СПб ЭМИ, НИЦЭБ, ММБИ и ИППЭС КНЦ РАН, ААНИИ, МГУ им. Ломоносова, Международным центром дистанционных методов и окружающей среды им. Нансена, Центром «Аэрокосмос», Санкт-Петербургским госуниверситетом, ПетрГУ и научными учреждениями зарубежных стран (Финляндии, Швейцарии, Швеции, Норвегии, Германии, Канады, США, Индии и других).

Водные ресурсы и водно-экологический потенциал Европейского Севера России

Водные ресурсы Северного экономического района России

Изучены водные объекты, водные ресурсы, водохозяйственный комплекс Европейского Севера России, Северного экономического района России (СЭР), в состав которого входят шесть субъектов Федерации: Архангельская,

Вологодская, Мурманская области, Республики Карелия и Коми, Ненецкий автономный округ [Филатов и др., 2016б]. Исследования выполнены в рамках комплексных проектов изучения функционирования водных экосистем озер, озерно-речных систем и подземных вод: «Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике», «Водные ресурсы Севера Европейской территории России – современное состояние и перспективы рационального использования с позиций национальной безопасности России (социальные, экологические, экономические и международные аспекты)», а также грантов РФФИ и РФФ.

В ИВПС с использованием средств ГИС созданы соответствующие базы данных (БД): «Водные ресурсы Европейского Севера России и их использование» (2017), «Гидрологические характеристики озер России» (2018), «Озера Карелии» (2011), «Водные объекты Республики Карелия» (2011), «Водохозяйственный комплекс Республики Карелия» (2011) и др. Правообладателем этих БД является Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН. В них содержится информация о гидрографии и гидрологии, поверхностных и подземных водах, водном транспорте, гидроэнергетике, водопотреблении, водопользовании, рыбном хозяйстве, административном устройстве и населении региона и др. Базы данных предназначены для использования при реше-

нии научных проблем и актуальных практических задач развития водохозяйственного комплекса региона.

Обобщающие сведения о водных ресурсах региона, водохозяйственном комплексе приводятся в ряде статей [Филатов и др., 2016а, 2020б; Литвиненко и др., 2019] и монографий [Каталог..., 2001; Водные..., 2006; Озера..., 2013 и др.].

В результате исследований показано, что средние многолетние значения поверхностного стока на территории СЭР изменяются от 300 до 900 мм и более (рис. 1, а).

Ежегодно возобновляемые водные ресурсы СЭР за период наблюдений составляют около 520 км³. Доля подземных вод в общем водопотреблении представлена на рис. 1 (б). Все административные территории, входящие в СЭР, имеют высокую удельную водообеспеченность (ВО) как общими, так и местными водными ресурсами. В целом по СЭР удельная ВО местным стоком составляет 110 тыс. м³ в год на одного человека и 343 тыс. м³ в год на 1 км² территории. Это соответственно в 3,7 и 1,4 раза больше, чем в среднем по Российской Федерации. Таким образом, обеспеченность СЭР поверхностными водными ресурсами достаточно высока и количественные параметры не являются фактором, лимитирующим развитие экономики региона. По степени обеспеченности ресурсами подземных вод питьевого качества рассма-

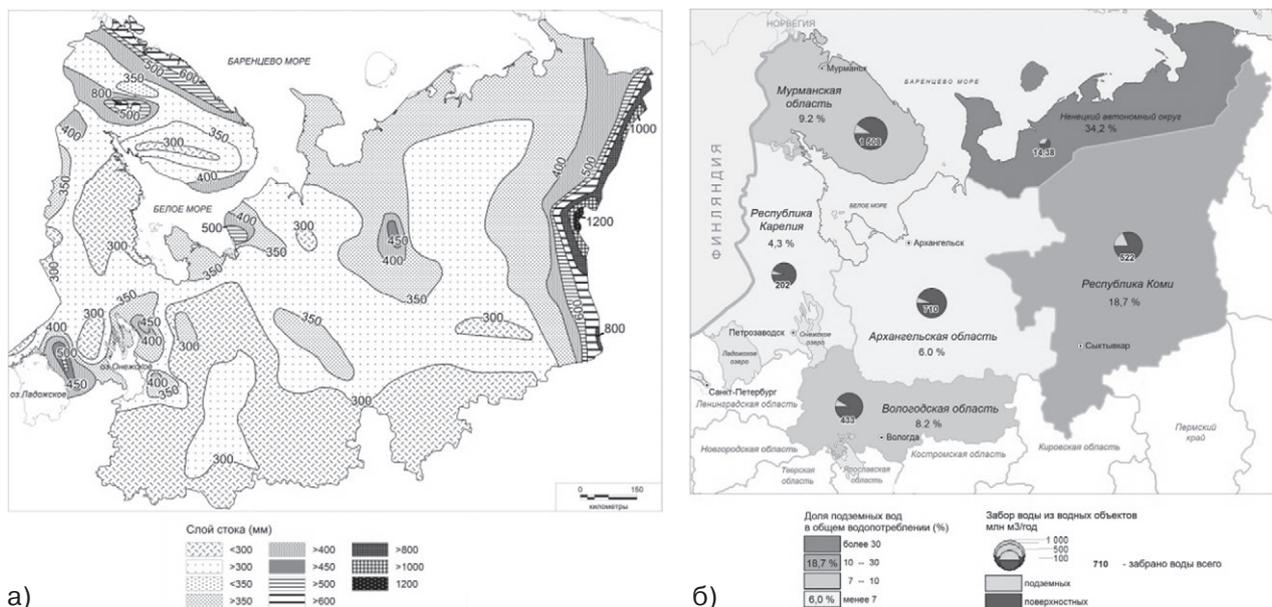


Рис. 1. Ежегодно возобновляемые водные ресурсы на территории Северного экономического района РФ [Филатов и др., 2016] (а); доля подземных вод в общем водопотреблении и забор воды из водных объектов (б)
Fig. 1. Annually renewable water resources in Russia's Northern Economic District [Filatov et al., 2016] (a); the share of groundwater in the total water consumption, and water withdrawals (б)

триваемые регионы относятся преимущественно к надежно обеспеченным. Наименьшими объемами подземных вод (запасы, добыча, использование) выделяется Карелия. В общем балансе современного водоснабжения Карелии подземные воды составляют всего около 5 % [Бородулина и др., 2017]. Необходимо учитывать, что питьевые кондиции подземных вод во многих случаях выше, чем поверхностных, и поэтому для региона является перспективным использование подземных вод, как это практикуется в соседней Финляндии, где подземные воды в питьевом водоснабжении составляют более 50 % [Водные..., 2006].

Проблемы хозяйственно-питьевого водоснабжения региона связаны с техническими или экономическими сложностями или, чаще всего, с вопросами несоответствия качества воды в источниках предъявляемым требованиям вследствие их природных особенностей и/или антропогенного влияния. Этот аспект для СЭР является фактором, затрудняющим экономическое развитие отдельных субъектов.

Полученные результаты представляют интерес для реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.». На основе выполненных исследований даны предложения по реализации Программы по улучшению обеспечения населения Республики Карелия водой высокого качества, развитию гидроэнергетики и водного транспорта – чрезвычайно актуальных вопросов в связи с интенсификацией освоения ресурсов Арктической зоны.

Справочник «Озера Карелии»

Справочник «Озера Карелии» [2013] (рис. 2) создан по данным многолетних исследований ИВПС КарНЦ РАН и содержит систематизированную информацию по морфометрии, гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, донным отложениям, водному хозяйству 225 наиболее изученных озер Карелии. При создании справочника использовались ранее разработанные в ИВПС «Каталог озер и рек Карелии» [2001], база данных «Озера Карелии» (2011), «Информационно-справочная система «Озера и реки Карелии» (разработана совместно с ИПМИ КарНЦ РАН). В справочник вошли данные, полученные в основном ИВПС КарНЦ РАН, а также сведения, имеющиеся в других учреждениях: Институте биологии КарНЦ РАН, Институте леса КарНЦ РАН, ИНОЗ РАН, ЗИН РАН, а также в СевНИИРХ, ПетрГУ, ФГПУ «Карелрыбвод», Карельском республиканском центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Комитете по водным ресурсам РК,

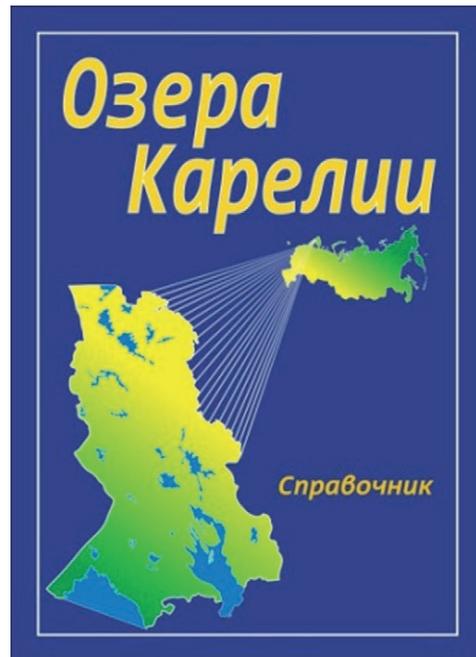


Рис. 2. Справочник «Озера Карелии»

Fig. 2. "Lakes of Karelia" reference book

Невско-Ладожском бассейновом управлении. Информация, приведенная в справочнике, может представлять интерес для научных исследований, при принятии управленческих решений для рационального использования, охраны и восстановления озер. Справочник издан при поддержке гранта РГО.

Экспертная система «Озера Карелии»

В Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН совместно с Санкт-Петербургским экономико-математическим институтом РАН разработана экспертная система для классификации озер, определения их трофического статуса, оценки водных и биологических ресурсов водоемов с помощью методов теории искусственного интеллекта. Система создана на основе базы данных 100 наиболее изученных озер региона (БД «Озера Карелии», 2011 г.). Для оценки связей, построения эффективных моделей озерных экосистем проведено всестороннее изучение озер, которые рассматриваются в совокупности как единое целое, состоящее из неповторимых индивидуальностей. На рис. 3 представлены результаты классификации озер Карелии и схема расположения изученных водоемов.

После оценки трофического статуса озер проведена их классификация с использованием метода многомерного шкалирования (рис. 3, а). Например, кластер А объединяет большие олиготрофные озера севера Карелии (Топозеро, Пяозеро, ставшие в 1980 годах Кум-

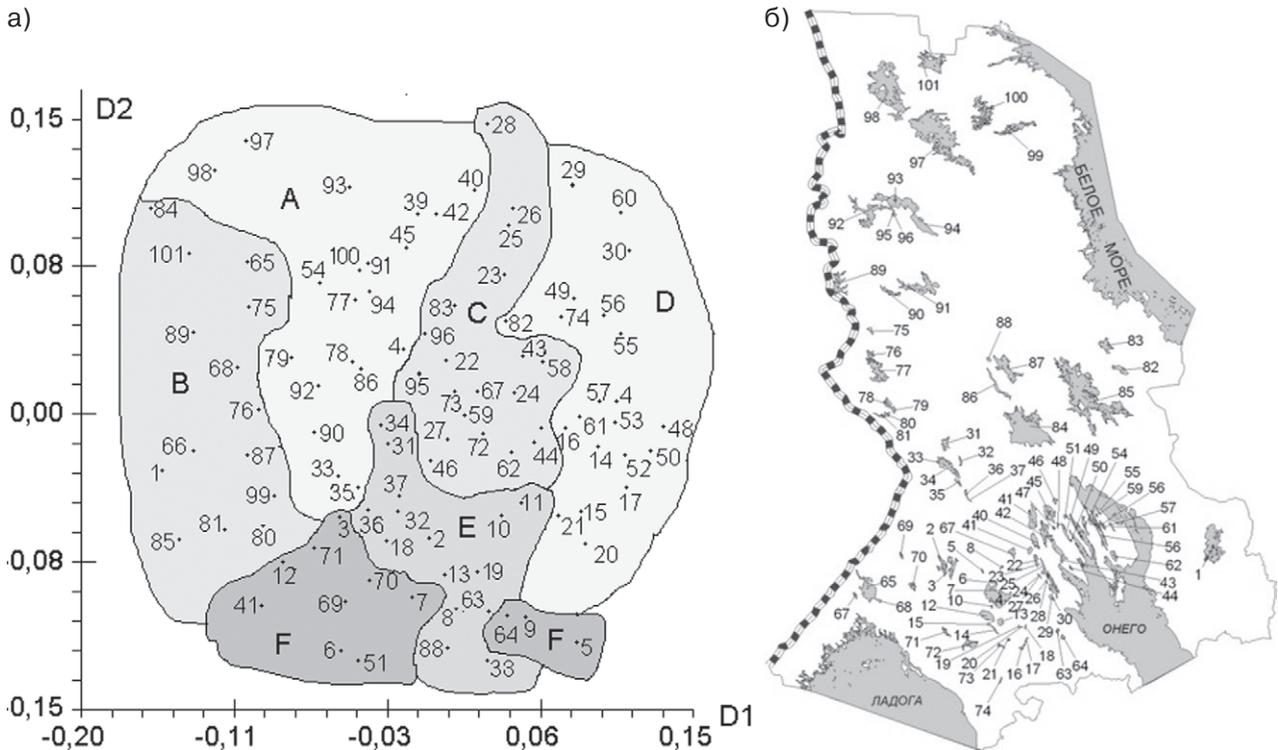


Рис. 3. Классификация 100 озер Карелии с использованием экспертной системы в координатах D1 и D2 по данным 10 порядковых характеристик и списков видов рыб, макрофитов и бентоса, а также типов грунтов и трофического статуса озер. Полученные классы озер: А, В, С, D, E, F (а) и расположение озер Карелии (б), сведения о которых использовались при разработке системы

Fig. 3. A classification of 100 Karelian lakes using an expert system in the D1 and D2 coordinates based on data for 10 ordinal characteristics and checklists of fish, macrophytes, and benthos species, as well as substrate types and trophic status data. The resultant lake classes: A, B, C, D, E, F (a) and locations of the lakes (b) that have provided data for the System development

ским водохранилищем). Разработанная система с применением «нечеткой» классификации позволяет дать более корректное отнесение к классу по сравнению с другими подходами [Меншуткин и др., 2009а, б; 2013].

Качество вод, состояние и изменения экосистем водных объектов Карельского гидрографического региона

Классификация качества вод водоемов и водотоков гумидной зоны по гидрохимическим параметрам

Геологические и климатические особенности Карелии обуславливают весьма широкую изменчивость основных параметров природных вод региона: рН – от 4,2 до 7,5, сумма ионов – от 5 до 200 мг/л, цветность – от 5 до 300 градусов. Гумусовые вещества имеют большое значение для формирования химического состава поверхностных вод Карелии. В целом наиболее характерными особенностями поверхностных вод региона являются их низкая минерализа-

ция, преобладание гидрокарбонатов и кальция в ионном составе, содержание значительных количеств органического вещества гумусовой природы. Во всех водах без исключения щелочноземельные металлы превалируют над щелочными, что является оптимальным для существования гидробионтов [Лозовик и др., 2011]. В связи с этим поверхностные водные объекты Карелии активно используются для рыбоводных хозяйств, на которых выращивается более 70 % российской форели. По результатам изучения химического состава вод озер, озерно-речных систем ИВПС КарНЦ РАН разработаны несколько классификаций и построены соответствующие картосхемы.

Классификация природных вод по совокупности данных химического состава воды и нормативов по ее использованию для питьевого водоснабжения и рыбохозяйственных целей

Составлена карта качества поверхностных вод Карелии (рис. 4). Выделено 5 классов

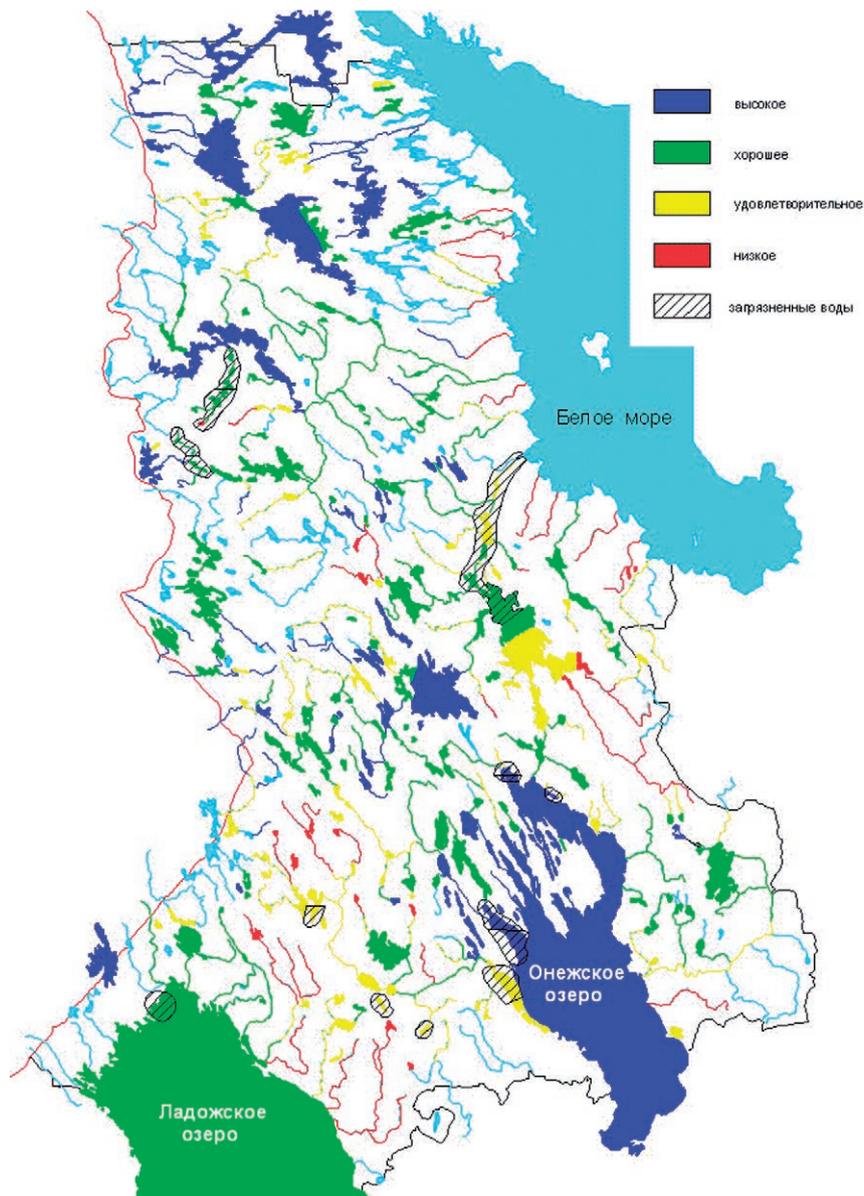


Рис. 4. Классификация природных вод по совокупности данных химического состава воды и нормативов по ее использованию для питьевого водоснабжения и рыбохозяйственных целей [Лозовик, 2013]

Fig. 4. A classification of natural waters based on the combination of data on the water chemical composition and regulatory standards for its use for drinking water supply, fishery and fish culture [Lozovik, 2013]

вод. Большинство озер имеют высокое или хорошее качество воды. К загрязненным относятся водные объекты (или их участки), подверженные воздействию точечных и/или рассеянных источников антропогенного воздействия. Качество вод отдельных заливов Онежского озера (Петрозаводской и Кондопожской губ) и северного шхерного района Ладожского озера вследствие антропогенного влияния отличается от более чистых вод центральной и южной частей этих водоемов.

Геохимическая классификация поверхностных вод на основе теории кислотно-основного равновесия

Поверхностные воды Карелии характеризуются низкой минерализацией и большим содержанием органических веществ, что проявляется в значительной их цветности и высокой доле анионов органических кислот в ионном балансе [Лозовик и др., 2011; Лозовик, 2013]. Это сказывается на продукционной способ-

ности водных объектов и проявляется в снижении слоя фотосинтеза, вследствие чего уровень трофии водного объекта зависит уже не только от концентрации общего фосфора, но и от цветности воды. Эти и другие специфические особенности высокогумусных вод наиболее полно учтены в геохимической классификации П. А. Лозовика [2013]. Взаимосвязь между содержанием минеральных и органических веществ в природных водах обуславливается их кислотно-основным равновесием, которое и было положено в основу классификации. Действие факторов органической и неорганической природы может быть установлено по изменению pH на одну и ту же величину и может служить критерием перехода от одного класса к другому. В результате установлена связь между щелочностью и pH, а также связь pH с гумусностью воды: увеличение pH на 0,6 единиц соответствует 2,5-кратному изменению гумусности воды. В переходных областях между классами вод используется показатель содержания железа общего, который тесно коррелирует с гумусностью. Для классификации по уровню трофии использовались показатели содержание $P_{\text{общ}}$ и гумусность. По щелочности, pH и гумусности было выделено 15 основных геохимических классов. Установлено, что среди водных объектов Карелии преобладают среднещелочностные воды различной гумусности (около 60 %). Высока доля слабокислых мезогумусных (12,5 %) и высокогумусных (13 %) вод. Количество объектов, отнесенных к шести

основным классам вод, в общей сложности составляет около 92 % от числа обследованных. Остальные классы представлены незначительным числом объектов (менее 20) [Зобков, 2012; Лозовик, 2013].

Разработка кинетической теории трансформации лабильных веществ ($P_{\text{общ}}$, $N_{\text{орг}}$, Fe, Si, органическое вещество) в природных водах гумидной зоны

На основе данной теории выведено уравнение связи между удерживающей способностью вещества в озере (R), константой скорости его трансформации (k) и периодом водообмена (τ): $R/(1 - R) = k\tau$. Установлено, что трансформация лабильных веществ в озерных системах описывается кинетическим уравнением реакции 1-го порядка (рис. 5).

В среднем для разнотипных водных объектов Карелии константа скорости трансформации литофильных элементов (Fe, Si) составляет $0,32 \text{ год}^{-1}$, период полупревращения ($t_{1/2}$) – около 2 лет. Для аллохтонного органического вещества, фосфора общего и $N_{\text{орг}}$ $k = 0,13 \text{ год}^{-1}$, $t_{1/2}$ – около 5 лет. Полученные кинетические закономерности позволяют прогнозировать состав воды озер гумидной зоны при изменении внешней нагрузки на водоем, что имеет большое практическое значение для нормирования антропогенного воздействия на водоем с учетом его ассимиляционной способности [Лозовик, 2015; Рыжаков, 2017; Lozovik, Ryzhakov, 2017].

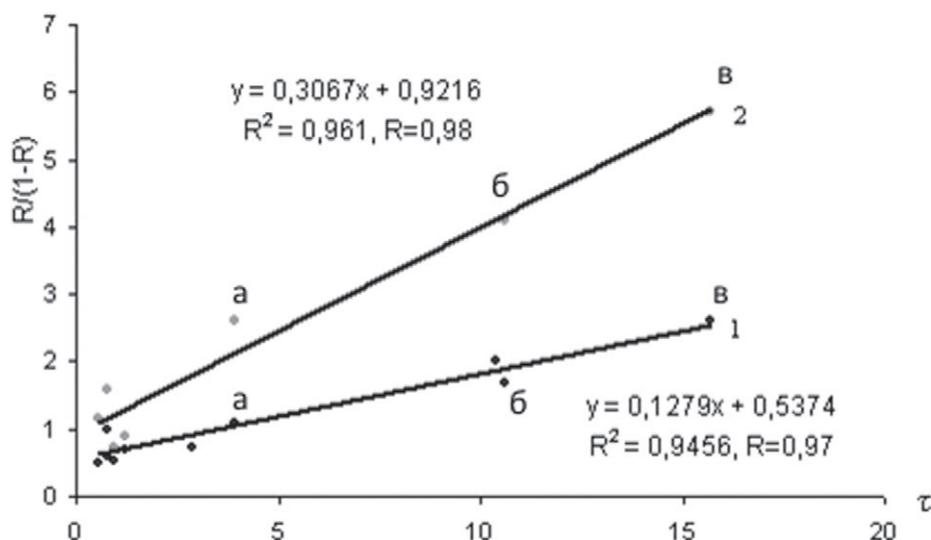


Рис. 5. Зависимость функции удерживающей способности $R/(1 - R)$ от периода водообмена:

1 – для $P_{\text{общ}}$, 2 – для $Fe_{\text{общ}}$; а – Сямозеро, б – Ладожское оз., в – Онежское оз.

Fig. 5. Retention capacity function $R/(1 - R)$ as a factor of the residence time:

1 – for P_{tot} , 2 – for Fe_{tot} ; а – L. Syamozero, б – L. Ladoga, в – L. Onego

Разработка модели месторождения минеральных железистых вод первого российского курорта «Марциальные воды»

Модель уникального месторождения минеральных железистых вод первого российского курорта «Марциальные воды» разработана на основе режимных наблюдений, изотопно-геохимических данных и палеореконструкций климата. Определено, что основными процессами формирования высокожелезистых вод являются окисление сульфидов в шунгитсодержащих комплексах палеопротерозоя и растворение продуктов окисления, имеющих криогенный генезис. Значительные отличия дебита, химического 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. Результаты исследования позволяют рационально и экологически безопасно использовать месторождение минеральных вод и расширить лечебно-оздоровительные возможности региона [Бородулина и др., 2017, 2020].

Закономерности изменения гидрологического режима и водных экосистем озер под влиянием климата и антропогенных факторов

Внутривековая изменчивость и долгосрочные прогностические оценки уровня воды крупнейших озер Евразии

Одна из ключевых проблем великих озер Евразии – недостаточное понимание причин и закономерностей изменчивости многолетних внутривековых колебаний элементов гидрологического режима, уровня воды, что не позволяет корректно решать задачу его прогноза и ряд практических вопросов по управлению ресурсами озер. ИВПС КарНЦ РАН, ИВП РАН и ЛИИ СО РАН выполнены совместные исследования закономерностей изменения уровня воды крупнейших озер Евразии и даны прогностические оценки многолетних изменений [Филатов и др., 2016а]. Все ранее предпринятые попытки долгосрочного прогноза внутривековых изменений уровня Каспия с использованием разнообразных методов оказались в основном неудачными. Причины долгопериодных внутривековых колебаний уровня Каспия не имеют до сих пор однозначного объяснения. На рис. 6 представлен график внутривековой

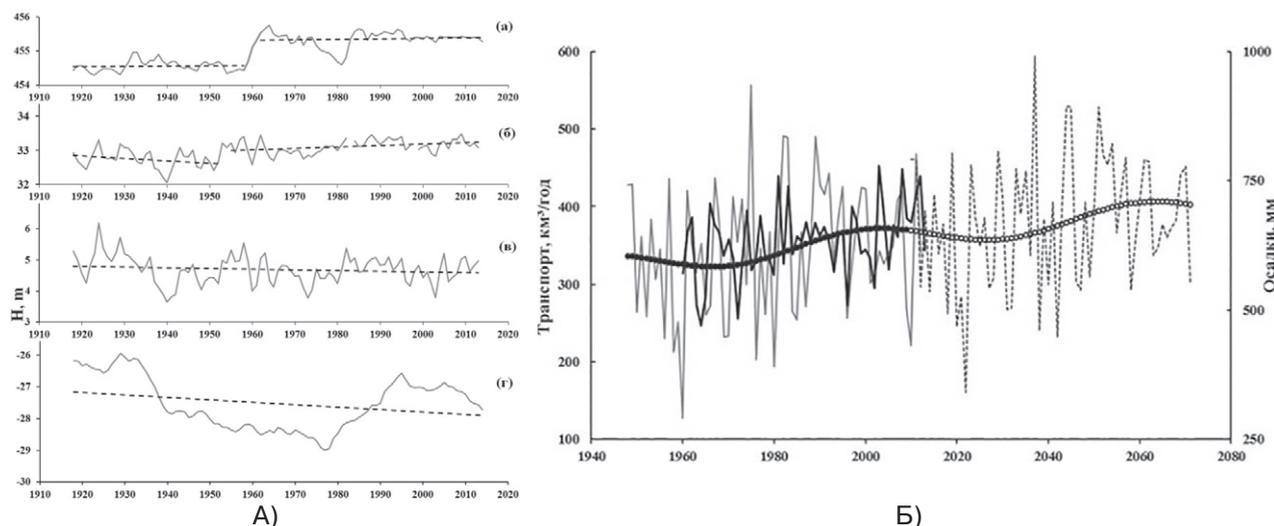


Рис. 6. Многолетние изменения среднегодовых значений уровня воды озер России: Байкал (а), Онежское (б), Ладожское (в), Каспий (г) [Филатов и др., 2016] (А). Оценки изменения горизонтального транспорта влаги (км³/год) в бассейн реки Невы в XX столетии и прогностические оценки его тенденций в XXI столетии по данным моделирования [Выручалкина и др., 2016] (Б)

Fig. 6. Long-term changes in among-year averages of the water level in lakes of Russia: Baikal (a), Onego (б), Ladoga (в), the Caspian (г) [Филатов и др., 2016] (А). Estimates of change in horizontal moisture transport (km³/year) to the Neva River catchment in the 20th century, and predictive estimates of its 21st century trends based on modeling data [Vyruchalkina et al., 2016] (Б)

изменчивости уровня крупнейших озер России и расчетные значения транспорта влаги в бассейн реки Невы, на которых даны прогностические оценки его тенденций в XXI столетии по данным моделирования [Выручалкина и др., 2016].

Рисунок 6 (А) демонстрирует слабую коррелированность внутривековых колебаний уровня воды великих озер России. Согласно принятому комбинированному климатическому сценарию (разработан в ИВП совместно с ИВМ РАН), основанному на композиции трендовой и циклической составляющей изменений климата, увеличение уровня воды Ладожского и Онежского озера можно ожидать после 2060 г. (рис. 6, Б) [Выручалкина и др., 2016]. Анализ удаленных связей внутривековой изменчивости уровня крупнейших озер России и Великих озер Северной Америки не выявил общих глобальных закономерностей, которые позволили бы улучшить возможности долгосрочного прогноза внутривековых колебаний уровня. Для крупных озер России, как и Великих американских, отмечается большая неопределенность долгосрочного прогноза внутривековых изменений уровня вод [Филатов и др., 2020а].

Закономерности изменений гидрологического режима и экосистем крупнейших озер европейской территории России

Для оценки влияния климата и антропогенных факторов на экосистемы крупнейших озер

Европы – Ладожского и Онежского – собраны и систематизированы данные об изменении климата на водосборе, гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, ихтиоценозах, донных отложениях, водохозяйственной обстановке, биогенной нагрузке и загрязнении озер, которые имелись в ИВПС КарНЦ РАН по Онежскому озеру. Также получены необходимые данные других организаций (Росгидромет, ГосНИОРХ и др.) [Онежское..., 2010] (рис. 7, а). Основные результаты экспериментальных исследований и моделирования экосистемы Ладожского озера получены ИНОЗ РАН и СПб ЭМИ РАН. Опыт экспериментальных исследований и моделирования экосистемы Онежского озера обобщен в работах [Руховец и др., 2006; Меншуткин и др., 2013; Руховец, Филатов, 2014].

Расчеты показали, что модель экосистемы Онежского озера [Руховец и др., 2006] адекватно воспроизводит круглогодичное функционирование экосистемы. На основе многолетних наблюдений и результатов моделирования сделан вывод о том, что по крайней мере пелагиаль Онежского озера в настоящее время сохраняет олиготрофный статус. Важным следствием проведенных экспериментов является то, что антропогенный пресс (до 2015 г.) является основным фактором, определяющим состояние экосистемы и качество воды в исследуемых озерах. Установлены критические нагрузки, при которых озеро не будет переходить в другой трофический статус. Оценены ассимиляционная емкость водоема и возможные последствия антропогенной деятельности на водосборе (гидроэнерге-

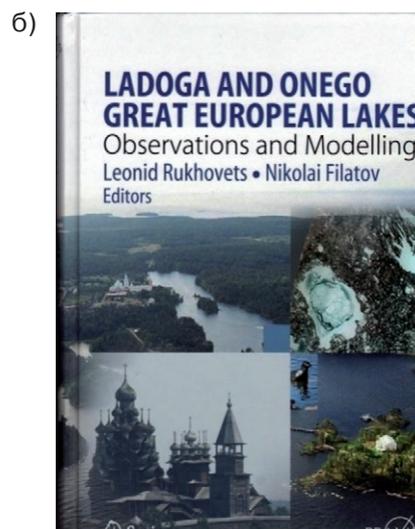
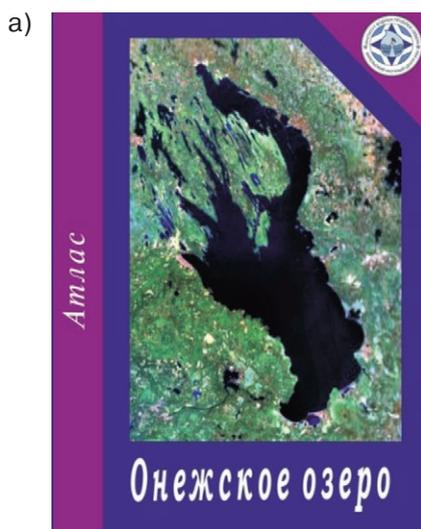


Рис. 7. Атлас «Онежское озеро» [2010] (а) и монография «Ladoga and Onego – Great European lakes. Observations and Modeling» [2010] (б)

Fig. 7. Atlas of “Lake Onego” [2010] (a) and the monograph “Ladoga and Onego – Great European lakes. Observations and Modeling” [2010] (б)

тика, ЦБП, сбросы сточных вод и в особенности нефтепродуктов). Сохранение высокого трофического статуса Онежского озера может быть обеспечено поддержанием поступления биогенных элементов на уровне, не превышающем 600–800 т Р/год и 15000 т N/год, и строительством комплексов очистных сооружений в городах, расположенных на побережье озера [Руховец и др., 2006; Ladoga..., 2010] (рис. 7, б).

Происхождение биоты континентальных водоемов

Исследования происхождения, становления и развития жизни в пресных водах обобщены д. б. н. З. С. Кауфманом в монографии «Происхождение биоты континентальных водоемов» [2005]. Изложена история изучения происхождения фауны континентальных водоемов, дается характеристика условий ее обитания в морских и пресных водах и тех проблем, с которыми столкнулись организмы, адаптированные к существованию в морских условиях, при изменении условий обитания. Монография (рис. 8) представляет интерес для самого широкого круга читателей, интересующихся вопросами происхождения пресноводных организмов, а также для зоологов и эволюционистов.

Биоресурсы Онежского озера и озерно-речных систем его бассейна

В монографии ИВПС КарНЦ РАН (рис. 9) изложены научные принципы биомониторинга и методы сохранения биоресурсов Онежского озера и его бассейна на основе исследования современного состояния и функционирования сообществ и популяций гидробионтов. Выявлены последствия влияния антропогенных факторов на состояние популяций рыб. Исследованы особенности биопродукционного процесса и рассчитаны теоретически возможные величины рыбных запасов и уловов в Онежском озере, позволяющие рекомендовать более рациональные пути использования сырьевых ресурсов водоема. Проведена ревизия правовой и нормативной базы для оценки ущерба водным экосистемам на региональном уровне. Разработаны научно-организационные мероприятия, направленные на сохранение популяций рыб и предусматривающие компенсацию нанесенного ущерба от рыбохозяйственной деятельности.

Созданы базы данных о современном состоянии гидробионтов прибрежных районов озера. Проведена оценка пространственного распространения рачка-вселенца *Gmelinoides*

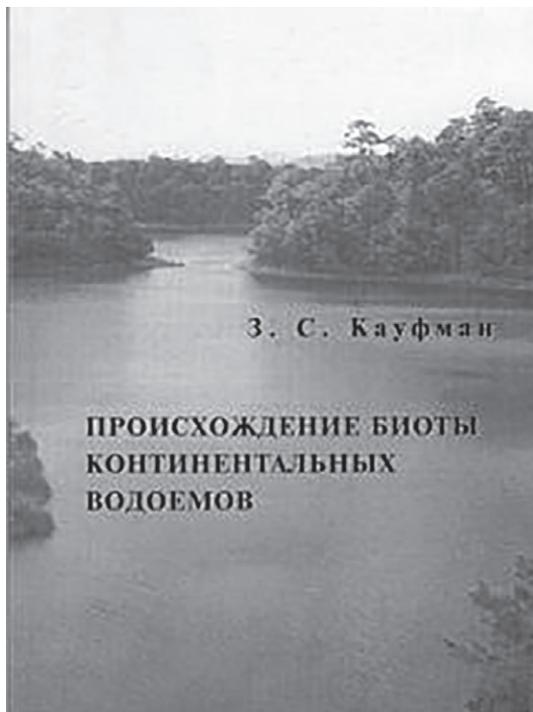


Рис. 8. Монография З. С. Кауфмана «Происхождение биоты континентальных водоемов» [2005]

Fig. 8. Monograph by Z. S. Kaufman "Genesis of the Biota in Continental Waters" [2005]



Рис. 9. Коллективная монография «Биоресурсы Онежского озера» [2008]

Fig. 9. Collectively authored monograph "Biological Resources of Lake Onega" [2008]

fasciatus Stebbing и количественных характеристик его популяций. Полученные данные необходимы для оценки степени нарушенности ценозов экосистемы при «биологическом» загрязнении, для прогноза состояния сообществ гидробионтов как кормовой базы рыб [Теканова и др., 2018; Калинин и др., 2019].

Усиление влияния потепления климата на биогеохимические процессы в экосистеме Онежского озера. Браунификация вод

В условиях потепления климата произошло возрастание годового стока веществ со стоком р. Шуи в Петрозаводскую губу Онежского озера (рис. 10), и последовали изменения в химическом составе озерной воды в весенний период. В Петрозаводской губе выявлены достоверные изменения химических показателей – индикаторов влияния речных вод (увеличение цветности воды, содержания железа, фосфора, углекислого газа, снижение величины pH) за период с 1992 по 2019 год. Эти изменения привели к ухудшению качества воды в Петрозаводской губе Онежского озера – источнике питьевого водоснабжения г. Петрозаводска.

Накопление железа на дне в результате изменения геохимических процессов в системе «водосборная территория – водоем» вызвало резкое сокращение количества в Петрозаводской губе глубоководного макрозообентоса, в том числе реликтового донного рачка *Monoporeia affinis* – основного трофического ре-

сурса бентосоядных рыб в глубоководной зоне. Начальные признаки браунификации в виде увеличения цветности воды, содержания железа и углекислого газа отмечены и в центральной части Онежского озера в верхнем перемешанном слое воды [Калинкина и др., 2018; Калинин, Белкина, 2018; Kalinkina et al., 2020].

Впервые оценено изменение внутренней фосфорной нагрузки, формирующейся в условиях неравномерного антропогенного воздействия в Онежском озере

Установлено, что процесс трансформации органического вещества в донных отложениях Онежского озера (гумусо-железо-кремниевый тип) в окислительной обстановке на ранней стадии диагенеза, приводящий к образованию аутигенных минералов железа и марганца, является ведущим геохимическим процессом, обеспечивающим устойчивость экосистемы Онежского озера к внешним воздействиям естественной и антропогенной природы за счет изъятия фосфора из внутриводоемного цикла в результате его удержания и захоронения в донных отложениях [Белкина, 2015] (рис. 11).

Исследование выполнено по гранту РНФ 18-17-00176 «Палеолимнология Онежского озера: строение, процессы накопления и трансформации донных отложений. От приледникового озера до современных условий» (рук. д. г. н. Д. А. Субетто) и госзаданию «Пространственно-временная трансформация озерного седиментогенеза гумидной зоны. Поздне-

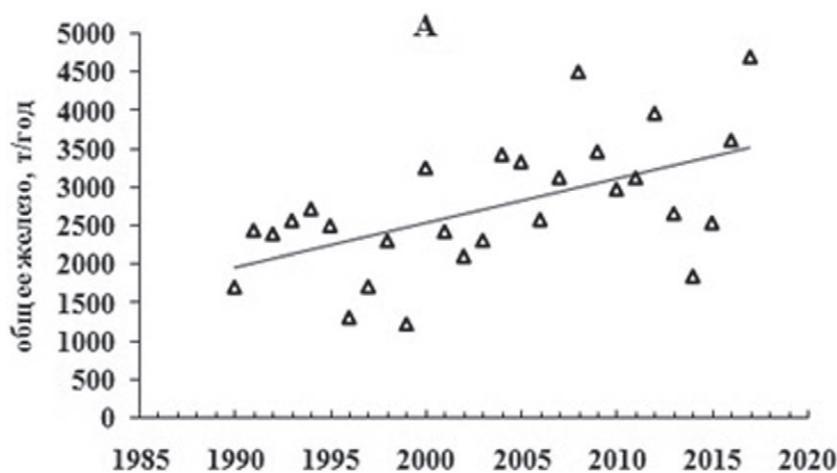


Рис. 10. Многолетний тренд изменения годового стока железа с водами р. Шуи в Петрозаводской губе в 1992–2019 годах (сплошная линия – линейный тренд за 30-летний период)

Fig. 10. Long-term trend in annual iron input from the Shuja River to Petrozavodsk Bay in 1992–2019 (solid line – 30-year-long linear trend)

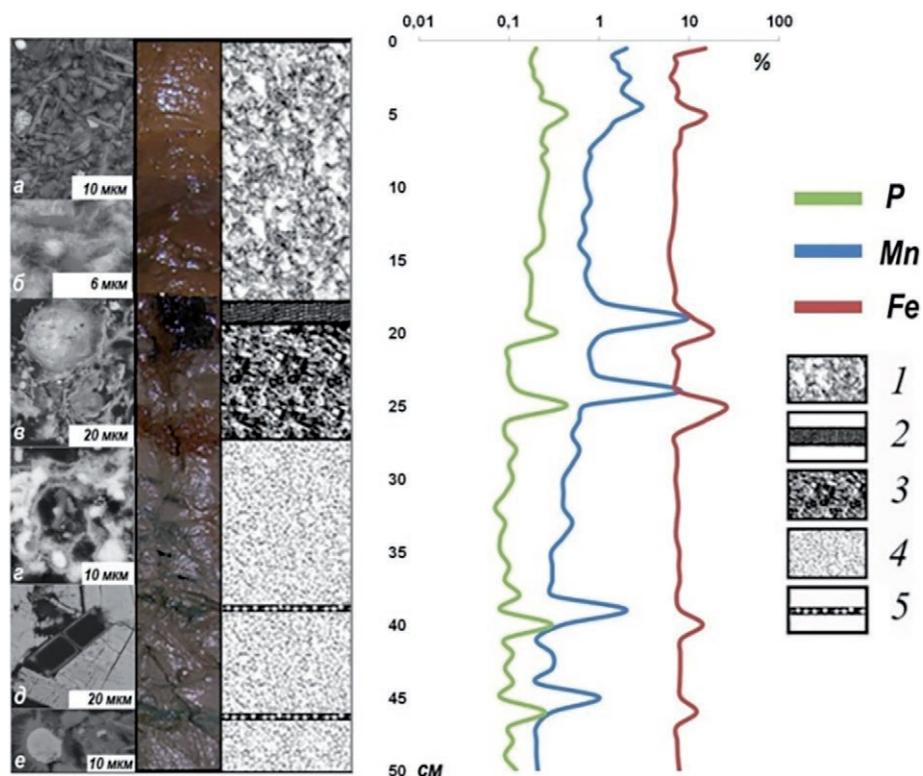


Рис. 11. Фосфор, железо и марганец в донных отложениях Онежского озера:

1 – ил охристого цвета (а – биогенный Si и обломочные минералы: мусковит, кварц и полевые шпаты; б – Fe-хлорит и иллит); 2 – рудная корочка черного цвета (в – марганцевые минеральные фазы), 3 – рудная корочка шоколадного цвета (минеральные фазы железа); 4 – неслоистый ил серо-зеленого цвета; 5 – микрослойки зеленого, белого и черного цвета (г – родохрозит, сидерит, д – вивианит, е – пиролюзит)

Fig. 11. Phosphorus, iron, and manganese in Lake Onego sediments:

1 – yellow silt (a – biogenic Si and clastic minerals: muscovite, quartz, and feldspars; б – Fe-chlorite and illite); 2 – black ore crust (в – manganese mineral phases), 3 – chocolate-brown ore crust (iron mineral phases); 4 – gray-green unstratified silt; 5 – green, white, and black microlamellae (г – rhodochrosite, siderite, д – vivianite, е – pyrolusite)

и послеледниковое время» [Strakhovenko et al., 2012; Белкина, 2019].

Реакция экосистем озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на глобальные и региональные изменения климата

Исследованы региональные изменения климата и их воздействие на озера разного размера, генезиса и формы, расположенные в разных физико-географических условиях. Для исследований были выбраны озера, находящиеся под достаточно сильным антропогенным воздействием, например, озера Восточной Фенноскандии, а также озера Восточной Антарктиды, мало затронутые антропогенным влиянием (рис. 12).

Изучена ответная реакция гидрологического режима, биоты озер на изменения климата [Филатов и др., 2012]. Для выявления общих глобальных и региональных особенно-

стей климата и других изменений и их влияния на экосистемы озер Восточной Фенноскандии проанализированы наблюдения Росгидромета продолжительностью около 100 лет, применены трехмерные математические модели, а также гидрофизические и химико-биологические характеристики 27 озер трех оазисов Восточной Антарктиды, собранные в 2010–2011 гг. во время проведения 56-й Российской Антарктической экспедиции (РАЭ). Как в Восточной Фенноскандии, так и в Восточной Антарктиде последние несколько десятилетий отмечается положительная тенденция изменения средней годовой температуры воздуха. На всех озерах Восточной Фенноскандии отмечается увеличение безледоставного периода (БЛП). Наблюдаемые тенденции изменения климата в Восточной Антарктиде за последние 40–50 лет неоднородны. В оазисах Холмы Тала и Холмы Ларсеманн заметного влияния климата на изменения экосистем озер не выявлено, в отли-

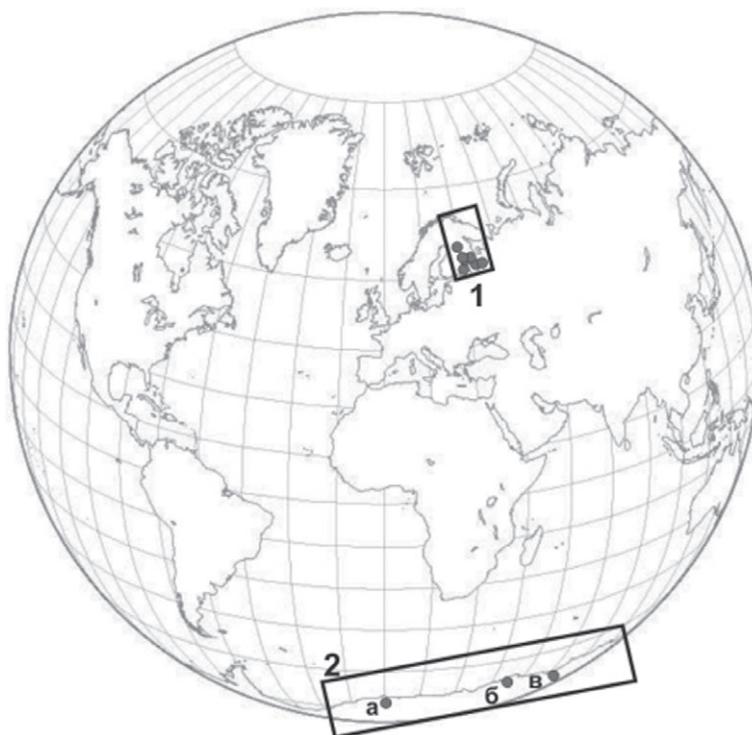


Рис. 12. Схема районов исследования озер:

1 – Восточная Фенноскандия, 2 – Восточная Антарктида (а – оазис Ширмахера; б – оазис Холмы Тала; в – оазис Холмы Ларсеманн)

Fig. 12. Lake research locations:

1 – Eastern Fennoscandia, 2 – East Antarctica (a – Schirmacher oasis; б – Thala Hills oasis; в – Larsemann Hills oasis)

чие от оазиса Ширмахера, из-за геологических особенностей региона. Гидрологические условия (прозрачность льда, постоянный ледяной покров) озер Восточной Антарктиды обеспечивали условия для развития цианобактериальных матов и мха на дне озер, но при потеплении климата в регионе, когда озера стали освобождаться от льда, устанавливается вертикальная изотермия с температурой воды примерно на 3 °С ниже по сравнению с озерами, покрытыми льдом. Исследования показали, что 3-метровый слой льда пропускает достаточное количество света даже до глубины 30 м. Свет не лимитирует развитие водорослей и цианобактерий [Шаров, Толстиков, 2020]. Однако низкое содержание биогенных веществ в воде ограничивает рост фитопланктона, обуславливая малые значения биомассы (менее 0,01 мг/л) и концентрации хлорофилла *a* (0,1–0,45 мкг/л). Таким образом, при потеплении климата в изученных озерах Антарктиды отмечается не увеличение, а снижение биологической активности организмов. В этом в настоящее время состоит отличие озер Восточной Антарктиды [Филатов и др., 2012; Шаров, Толстиков, 2020].

Диагноз и прогноз состояния экосистем при климатических и антропогенных воздействиях

Актуальность диагноза состояния и прогностических оценок экосистем великих озер России (Байкал, Каспий, Ладожское и Онежское) обусловлена необходимостью рационального использования богатых ресурсов (водных, биологических, гидроэнергетических, транспортных, рекреационных) и охраной их экосистем. Для этого требуется создание эффективной системы поддержки принятия управленческих решений, построенной на необходимых данных, современных математических моделях и совершенной законодательной базе. В связи с этим в рамках гранта РНФ были поставлены задачи совершенствования методов диагноза (оценки состояния и изменчивости) и долгосрочного прогноза (возможных изменений) гидрологических характеристик и экосистем крупнейших озер России при антропогенных и климатических воздействиях с использованием разнообразных математических моделей и анализа данных наблюдений [Диагноз..., 2020]. Исследования выполнены консорциу-

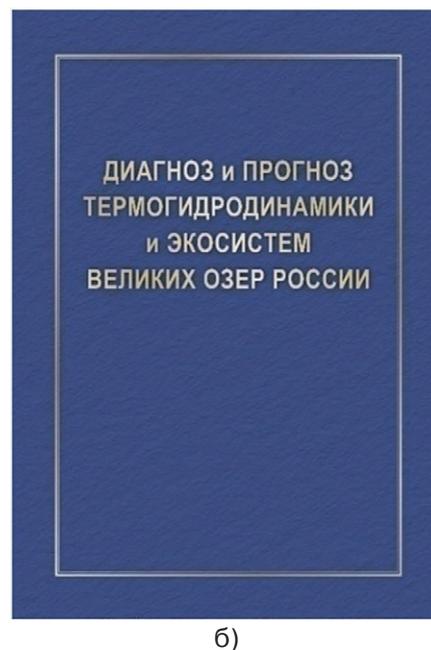
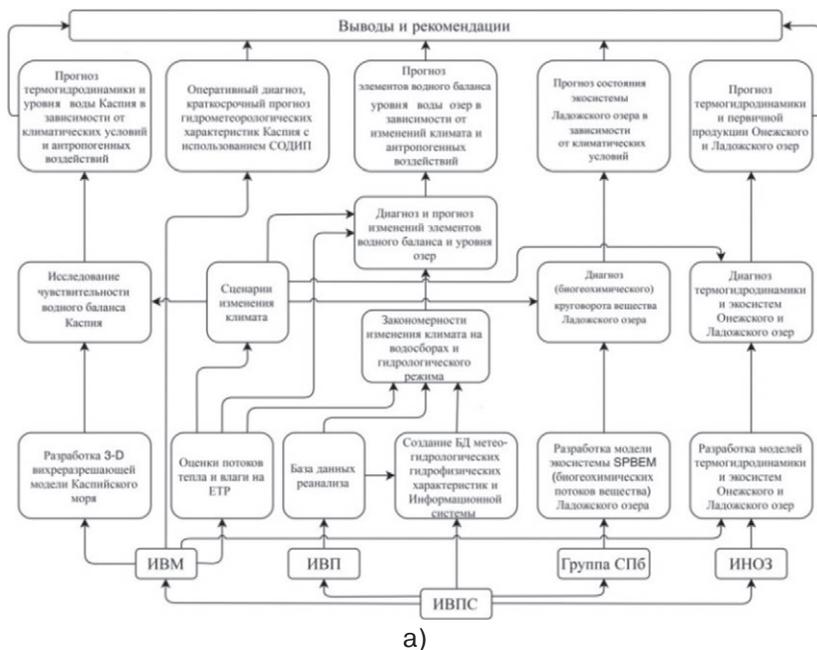


Рис. 13. Схема организации совместных исследований ИВПС КарНЦ РАН, ИВП РАН, ИВМ РАН, ИНОЗ РАН, СПб ИО РАН и результаты исследований для диагноза и прогноза состояния экосистем при климатических и антропогенных воздействиях (а). Коллективная монография по результатам проекта (б)

Fig. 13. Layout of joint research implemented by Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Water Problems Institute RAS, Institute of Numerical Mathematics RAS, Institute of Limnology RAS, Shirshov Institute of Oceanology RAS, and the research results of relevance for the diagnosis and prediction of ecosystem status under climatic and human impacts (a). Collectively authored monograph on the project results (b)

мом специалистов нескольких институтов Российской академии наук: ИВПС КарНЦ, ИВП, ИВМ, ИНОЗ, СПбФ ИО в рамках гранта РФ 14-17-00740-П (рис. 13).

В качестве информационной основы для разработки моделей использованы данные ИВПС КарНЦ РАН и ИНОЗ РАН. С использованием адаптированной для Ладожского и Онежского озер модели термогидродинамики, ранее разработанной для Каспия в ИВМ РАН, создана модель для имитации сезонных и многолетних изменений первичной продукции озер при потеплении климата [Голосов и др., 2020].

Другое важное направление исследований – создание 3D-моделей, которые позволяют описать механизмы изменений в экосистемах в виде биогеохимического круговорота вещества, осуществляемого процессами транспорта и трансформации с учетом динамики биогенных элементов в донных отложениях, которые служат «памятью» эволюции озерной экосистемы и важнейшим звеном, замыкающим биогеохимический круговорот путем их реминерализации. На примере экосистемы Ладожского озера разработана версия такой 3D-модели [Исаев, Савчук, 2020]. Использовался опыт разработки подобной модели для Балтийского моря при создании системы при-

нятия управленческих решений NEST для Балтийского моря [Savchuk, 2018]. Разработанные модели и/или их блоки могут быть использованы для других крупных озер России (Каспия и оз. Байкал). По результатам исследований даны рекомендации Законодательному собранию РК, Федеральному Собранию РФ, Государственной Думе РФ и ОНЗ РАН (для Совета безопасности РФ) по разработке приоритетного проекта по рациональному использованию ресурсов и охране экосистем Ладожского и Онежского озер [Диагноз..., 2020].

Анализ устойчивости водных объектов к антропогенным воздействиям (целлюлозно-бумажной, металлургической и горнодобывающей промышленности, лесных вырубок, сельскохозяйственной и лесной мелиорации) в условиях Европейского Севера России

Разработка метода расчета изменений стока при рубках леса на территории Карелии

Выполнен цикл работ, посвященных актуальным вопросам гидрологии – формированию речного стока в производных и коренных лесах.

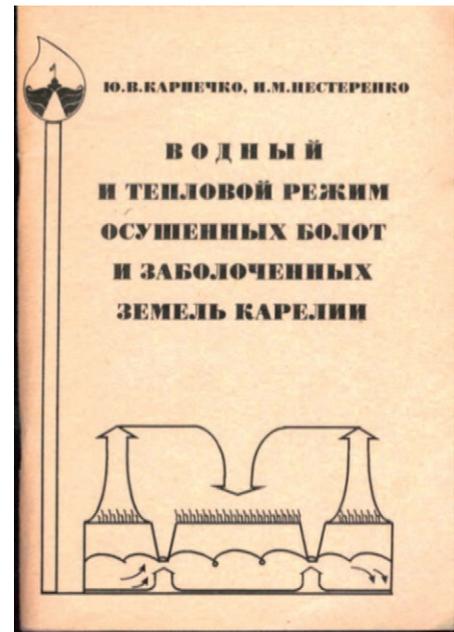
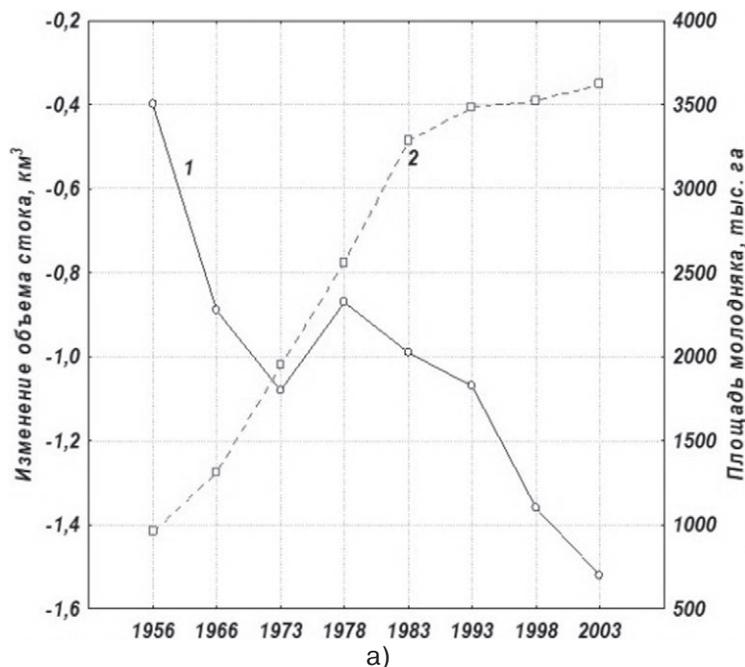


Рис. 14. Динамика антропогенной составляющей стока (1) и площади молодых лесов (2). При сохранении нынешнего объема заготовок древесины будет отмечаться снижение стока с лесопокрытой части территории Карелии на 1,5 км³/год [Карпечко, Бондарик, 2010] (а). Исследования в бассейнах рек Олонка, Шуя, имеющих заболоченность до 15 %, показали, что осушение не оказало существенного влияния на речной сток [Карпечко, Нестеренко, 1996] (б)

Fig. 14. Changes in the anthropogenic contribution to runoff (1) and the area of young forest (2). If timber logging is maintained at the current level, runoff from forested territory of Karelia will decline by 1.5 km³/year [Karpechko, Bondarik, 2010] (a). Water and temperature regime in drained mires and swampy forests in Karelia [Karpechko, Nesterenko, 1996] (b)

Приведена характеристика хозяйственной деятельности в лесу. Дано обоснование классификации лесов с точки зрения их гидрологической роли. Впервые расчетным путем получена антропогенная составляющая испарения и стока в производных лесах Карелии. Получены характеристики стока на водосборах и установлены их закономерности, которые необходимы для прогнозирования изменений при преобразовании природных условий, для построения математических моделей стока [Карпечко, Нестеренко, 1996; Карпечко, Бондарик, 2010].

Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России при климатических и антропогенных воздействиях

В Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН выполнены многолетние комплексные исследования экосистем Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища) и Выгозера (Выгозерско-Ондского водохранилища). Результаты этой работы обобщены в коллективной монографии [Крупнейшие..., 2015]. В ней

определены особенности преобразования экосистем этих крупнейших озер-водохранилищ севера ЕТР. Для Верхне-Свирского водохранилища процесс восстановления экосистем связан с уменьшением поступления загрязнений и биогенов, возрастанием после 1992 г. роли бактериопланктона, водных грибов в деструкции органического вещества. Значительное воздействие на изменения экосистем водоемов оказывает развитие аквакультуры, садкового рыбоводства. Показаны особенности водохозяйственного использования водных ресурсов при разных моделях состояния экономики, например, наиболее водоемкой отрасли промышленности – целлюлозно-бумажной, доля которой в промышленном водопотреблении бассейна составляет 91%. Снижение уровня лесозаготовок и ряд других причин начиная с 1989 г. повлекли за собой сокращение производства и снижение объемов водопотребления. Установлено, что современная фосфорная нагрузка на экосистемы близка к допустимой. Оценены допустимая биогенная нагрузка и ассимиляционный потенциал озера. Показано, что при сохранении биогенной

нагрузки на Верхне-Свирское водохранилище до 800 т Р/год и 1500 т N/год пелагиаль озера должна сохранять свой олиготрофный статус. Это позволяет принять данные величины в качестве оценок ассимиляционного потенциала по сбросу фосфора и азота в озеро.

Для Выгозерско-Ондского водохранилища установлено, что в последние 20 лет наблюдается восстановление его экосистемы и снижение трофического статуса. Показано, что процессы формирования донных отложений находятся под сильным влиянием антропогенного фактора, прежде всего поступления сточных вод Сегежского ЦБК. Требуется сократить до научно обоснованных сбросы загрязненных и недостаточно очищенных вод в эти водные объекты.

Результаты комплексных специализированных исследований

Комплексные исследования малых озер

В ИВПС КарНЦ РАН создана уникальная коллекция данных о гидрофизических процессах в малых мелководных озерах, полученная по результатам многолетних исследований и позволяющая проводить сравнительный анализ межгодовой изменчивости температуры воды и содержания растворенного кислорода на различных масштабах времени (от нескольких минут до месяцев). Проведены комплексные многолетние исследования термического, динамического, кислородного, радиационного

режимов, оптических свойств снежно-ледяного покрова, распределения фитопланктона в водной толще малых озер. Основные эксперименты выполнены на примере Вендюрского озера. Разработана методика длительных автономных измерений вертикального профиля температуры в придонных слоях воды и грунта и запатентована конструкция измерительной придонной платформы (патент на полезную модель № 153787).

Получен новый метод параметризации альbedo поверхности водоема умеренной зоны в период весеннего таяния, основанный на использовании в качестве предиктора аккумулированного внешнего потока тепла, определяющего скорость таяния слоев снежно-ледяного покрова (снега, белого и кристаллического льда) и, следовательно, изменчивость альbedo во времени [Тержевик и др., 2017; Здоровеннова и др., 2018].

Озерная модель FLake

Модель разработана совместно с партнерами по международным проектам INTAS-01-2132 (2002–2004), INTAS-Innovation-05-1000007-431 в 2006–2008 гг. [Mironov et al., 2010; Golosov et al., 2012]. Внедрена в систему численного прогноза погоды (ЧПП) Германии, находится на стадии внедрения в ЧПП Швеции, Великобритании, Франции, т. е. во все центры ЧПП высокого разрешения в Европе. Кроме того, она внедрена в региональные климатические модели RCA и CLM, рассматривается в качест-

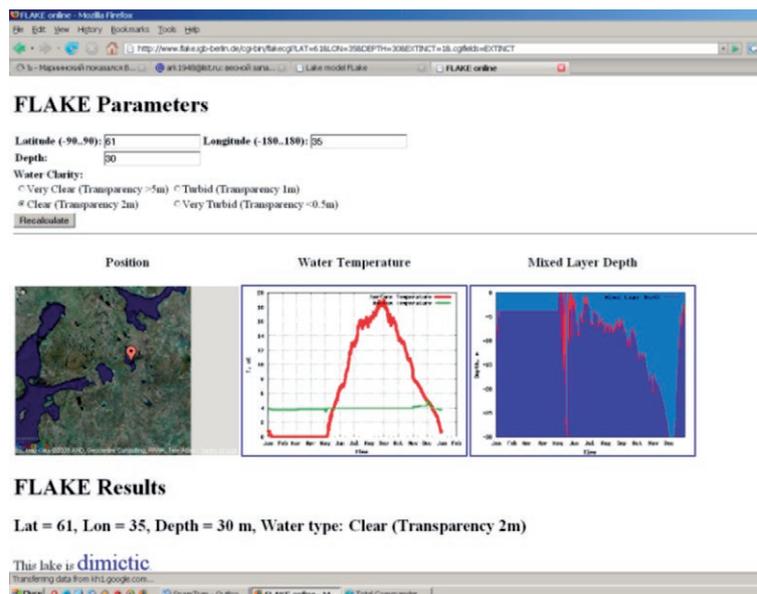


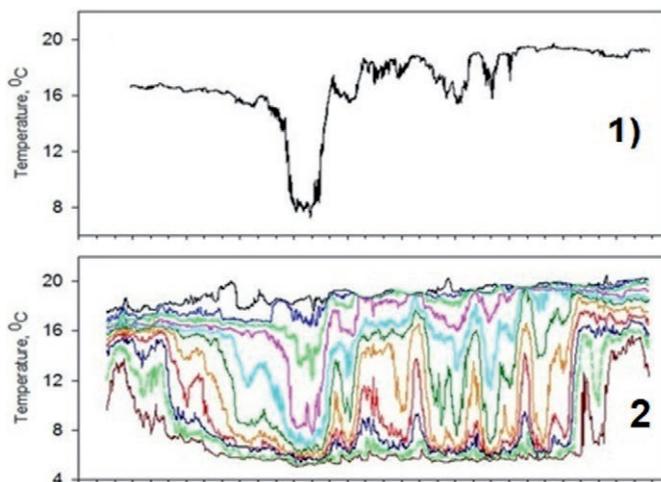
Рис. 15. Пример страницы модели Flake (<http://lakemodel.net>; <http://nwpi.krc.Karelia.ru/flake>)

Fig. 15. Flake model sample page (<http://lakemodel.net>; <http://nwpi.krc.Karelia.ru/flake>)



1. Бабине, 2. Онтарио, 3. Мичиган, 4. Сенека, 5. Лох-Несс, 6. Женевское, 7. Цюрих, 8. Лугано, 9. Балдегг, 10. Констанс, 11. Ладога, 12. Онего, 13. Севан, 14. Киннерет, 15. Байкал, 16. Бива, 17. Чапала.

а)



б)

Рис. 16. Схема расположения озер, использованных для анализа нелинейных внутренних волн (а). Пример изменений температуры воды, характеризующих бор на термоклине (б, 1) и внутренних волн на разных горизонтах в Онежском озере (б, 2)

Fig. 16. Locations of the lakes used for the analysis of non-linear internal waves (a). An example of water temperature changes characteristic of a bore at the thermocline (б, 1) and internal waves at different horizons in Lake Onego (б, 2)

ве озерного модуля для модели регионального климата Канады (рис. 15).

FLake была применена как физический модуль в моделях экосистем ряда озер [Mironov et al., 2010; Golosov et al., 2012].

Нелинейные внутренние волны в озерах мира

В ИВПС КарНЦ РАН организованы и проведены экспериментальные исследования нелинейных внутренних волн (НВВ) в Онежском озере. Совместно с коллегами из России, Германии, Украины и Великобритании по гранту ИНТАС (рук. проф. К. Хуттер) выполнено обобщение натурных исследований [Филатов и др., 2011] и результатов моделирования нелинейных внутренних волн в озерах мира (рис. 16, а).

Получены новые данные о генерации, разрушении и взаимодействии нелинейных внутренних волн по результатам комплексных экспериментов на Онежском озере (рис. 16, б). В крупном стратифицированном озере за счет взаимодействия крупномасштабных внутренних волн Кельвина и рельефа дна озера, нелинейных эффектов в термоклине могут генерироваться прогрессивные нелинейные одиночные (уединенные) внутренние волны типа бора на термоклине с амплитудой порядка 10 метров и короткопериодные НВВ (солитоны), проявляющиеся на локальных участках озера. В относительно узких ($R_r \geq L$) стратифицированных озерах уединенные НВВ после генерации внутренней общеозерной сейши могут распро-

страняться по всему озеру, причем в озерах правильной формы (Лох-Несс) после отражения от берега постепенно затухают, а в узких озерах сложной конфигурации (Бабин, Сенека) отмечаются только в одном направлении [Филатов и др., 2011; Filatov et al., 2012].

Международные мультидисциплинарные исследования подледного режима Онежского озера. Проект «Lake Ladoga: Life Under Ice Interplay of Under-Ice Processes By Global Change»

Отсутствие знаний о процессах в Онежском и Ладожском озерах при ледоставе не позволяло корректно оценить сезонные и многолетние изменения экосистем этих озер и дать надежный прогноз их возможных изменений при климатических и антропогенных воздействиях. В 2015–2017 гг. проведены комплексные междисциплинарные российско-швейцарские (при участии около 70 сотрудников из 17 организаций 9 стран мира) исследования жизни подо льдом Онежского озера. Такие же исследования не удалось выполнить на Ладожском озере вследствие невозможности проведения работ из-за опасной ледовой обстановки при потеплении климата. На рис. 17 представлены схема подпроектов «Life Under Ice Interplay of Under-Ice Processes By Global Change» и специальное издание результатов исследований в журнале SIL J. Inland Waters.

Результаты исследований свидетельствуют о серьезных потенциально опасных для экоси-

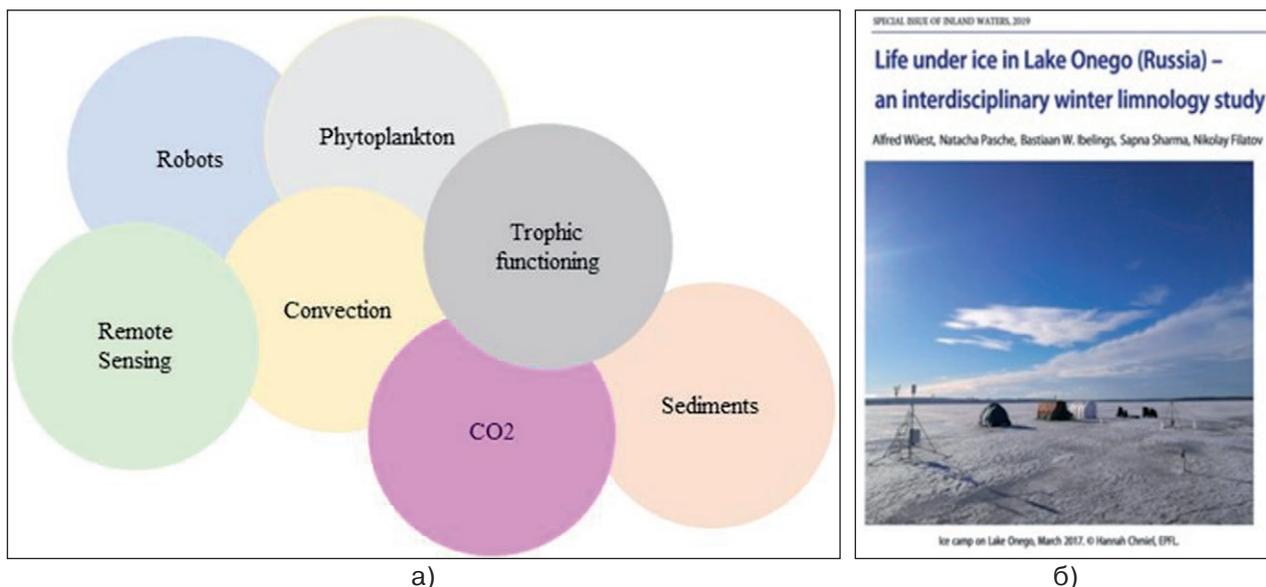


Рис. 17. Схема разделов проекта «Life Under Ice Interplay of Under-Ice Processes By Global Change» (а) и специальное издание результатов исследований в журнале Inland Waters, 2019 (б)

Fig. 17. Chart of the “Life Under Ice Interplay of Under-Ice Processes By Global Change” project units (a), and a special edition of the research results in the Inland Waters Journal, 2019 (б)

стем озер последствиях быстрого потепления климата в 1990–2018 гг. и связанного с этим сокращения ледяного покрова на Ладожском и Онежском озерах [Filatov et al., 2019]. Изучена динамика конвективного перемешанного слоя и проанализирована ее роль в последующем развитии биоты подо льдом. Показано, что режим развитой турбулентности на ранней стадии летнего прогрева озера играет важную роль в процессах переноса и перемешивания растворенных и взвешенных веществ, в частности, в поддержании тяжелых клеток водорослей в фотической зоне [Bogdanov et al., 2019].

В период ледостава в Онежском озере выявлено 58 видов фитопланктона и 25 видов зоопланктона. При малой прозрачности вод, неглубокой (несколько метров) эвфотической зоне в Онежском озере солнечная радиация является ключевым ресурсом, ограничивающим рост фитопланктона в озере. Были оценены параметры, характеризующие цикл метана в Петрозаводской губе Онежского озера. Оценен приток и сток парниковых газов, таких как метан и CO_2 . Показано, что измерение CO_2 только в пелагических водах больших озер может не позволить корректно оценить его баланс в озерах. Воды центральной части Онежского озера и Большого Онего сохранили олиготрофный статус по всем химическим параметрам. Исследования поддержаны фондом ELEMО (Швейцария) [Wüest et al., 2019].

Оценка состояния сложных эколого-социально-экономических систем и развитие научных основ управления ресурсами Европейского Севера России

Экспертная система для оценки состояния экосистем северных морей на примере Белого моря

Экспертная система (ЭС) разработана и совершенствуется совместно с ИПМИ КарНЦ РАН и ИВМ РАН. Реализуются идеи академиков В. П. Дымникова и А. С. Саркисяна (ИВМ РАН) о ее создании на основе собственных российских программных продуктов с использованием 3D-модели термогидродинамики, разработанной в ИВМ РАН. В ИВПС для Белого моря и водосбора (Беломорья) была создана информационная основа, проведены полевые эксперименты для калибровки и верификации ЭС. В рамках проектов «Мировой океан», программ Президиума РАН «Арктика», грантов РФФИ, INKO-Copernicus, INTAS и госзаданий проведены многолетние комплексные исследования Белого моря, созданы БД (2010), ГИС (2017), электронная и бумажная версии атласа (2017) «Белое море и водосбор», при участии коллег из других организаций (ИО РАН, ААНИИ, ММБИ, МГУ им. Ломоносова, Международного центра дистанционных методов и окружающей среды им. Нансена) выполнено обобщение собранных комплексных сведений в монографиях [Filatov et al., 2005; Белое..., 2007].

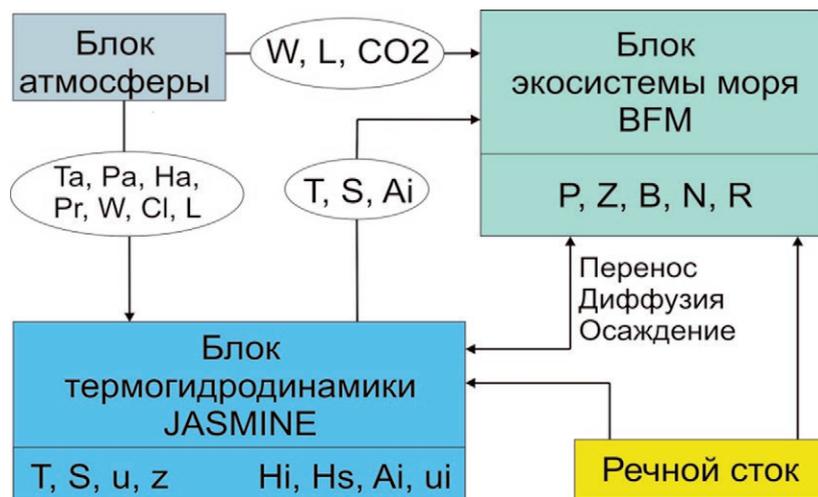


Рис. 18. Схема блоков модели JASMINE:

W – скорость ветра, L – освещенность, CO₂ – углекислый газ в атмосфере, Ta – температура воздуха, Pa – давление на уровне моря, Ha – влажность воздуха, Pr – осадки, Cl – облачность, T – температура воды, S – соленость, u – векторная скорость течений, z – уровень моря, Hi – количество льда, Hs – количество снега, Ai – сплоченность морского льда, ui – векторная скорость дрейфа льда, P – характеристики фитопланктона, Z – зоопланктона, B – бактериопланктона, N – концентрации биогенного неорганического вещества, R – концентрации и характеристики неживой органики [Chernov et al., 2018]

Fig. 18. JASMINE model blocks chart:

W – wind speed, L – light, CO₂ – atmospheric carbon dioxide, Ta – air temperature, Pa – sea-level pressure, Ha – air humidity, Pr – precipitation, Cl – cloudiness, T – water temperature, S – salinity, u – vector current velocity, z – sea level, Hi – amount of ice, Hs – amount of snow, Ai – sea ice concentration, ui – vector ice drift velocity, P – characteristics of phytoplankton, Z – zooplankton, B – bacterioplankton, N – concentrations of biogenic inorganic matter, R – concentrations and characteristics of non-living organic matter [Chernov et al., 2018]

В качестве основы при разработке ЭС использована 3D-модель FEMAO, ранее созданная для Ледовитого океана в ИВМ РАН Н. Г. Яковлевым [2009]. В 2014–2020 гг. в Институтах прикладных математических исследований КарНЦ РАН (И. А. Чернов), водных проблем Севера КарНЦ РАН (А. В. Толстикова) и вычислительной математики РАН (Н. Г. Яковлев) создан модельный комплекс JASMINE («Моделируем Белое море»: https://sites.google.com/site/modeling_the_White_sea), который является основой создаваемой ЭС (рис. 18).

ИВПС КарНЦ РАН при создании ЭС является ответственным за разработку информационной основы модели [Филатов и др., 2014], организацию и проведение полевых экспериментов для калибровки и верификации модели [Толстикова и др., 2019]. ЭС включает набор 3D математических моделей и постоянно обновляемую базу данных для экспертной оценки состояния экосистем Белого моря. Система предназначена для поддержки принятия управленческих решений.

Модель JASMINE совмещена с европейской моделью BFM (Biogeochemical Flux Model: <http://bfm-community.eu>). Предлагаемая ЭС может быть использована в задачах мониторинга, рационального использования и управления ресурсами морских и пресноводных

объектов, используется при разработке когнитивной модели эколого-социо-экономической системы Белого моря и водосбора [Толстикова, Чернов, 2019; Chernov et al., 2020].

Исследования эколого-социо-экономической системы Белого моря и водосбора

ИВПС КарНЦ РАН совместно с Институтом проблем региональной экономики РАН (проф., д. б. н. В. В. Меншуткин), Институтом леса КарНЦ РАН (чл.-корр. РАН О. Н. Бахмет) и Институтом экономики КарНЦ РАН (д. э. н. П. В. Дружинин) выполняет системные исследования социо-эколого-экономических процессов Белого моря и водосбора как части Арктической зоны РФ, основной целью которых является оценка влияния изменений экономики, окружающей среды, климата на состояние экосистемы Белого моря, социальную сферу и условия проживания населения. Создано необходимое информационное обеспечение: геоинформационные системы; базы данных; комплексный электронный и бумажный атласы Белого моря и его водосбора, оригинальные 3D математические модели термогидродинамики и экосистемы моря (JASMINE), изучены зако-

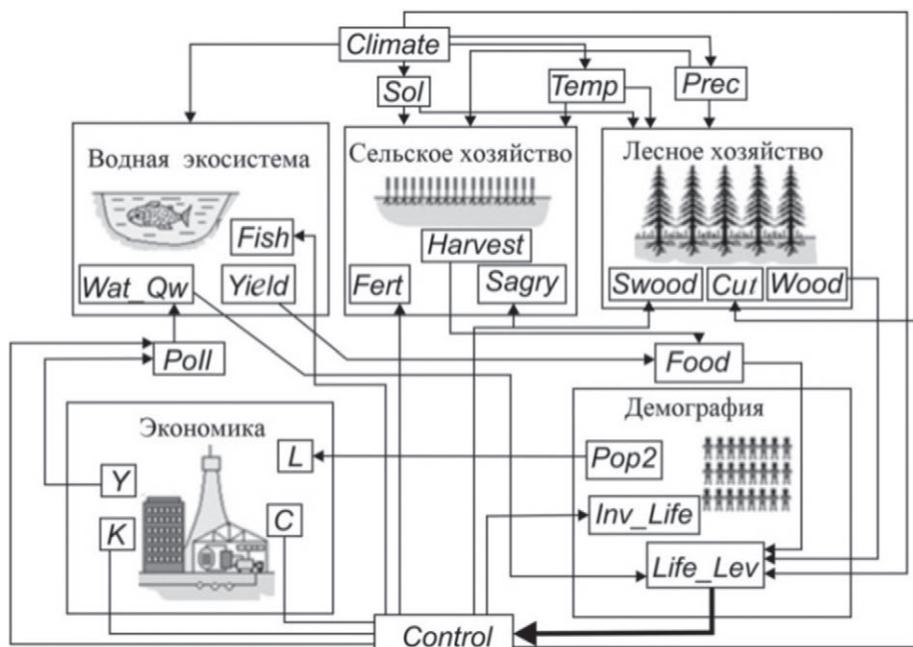


Рис. 19. Общая блок-схема эколого-социо-экономической модели региона:

Y – валовой региональный продукт, K – капитал или производственные фонды, L – численность работоспособного населения, C – потребление, Inv – инвестиции [Меншуткин, Филатов, 2021]

Fig. 19. Overall flowchart of the region's ecologo-socio-economic model:

Y – gross regional product, K – capital or production assets, L – able-bodied population size, C – consumption, Inv – investments [Menshutkin, Filatov, 2021]

номерности изменений климата, гидрологических условий и рыболовства – основного занятия местного населения, используются модели для оценки состояния и прогноза развития экономики региона (рис. 19). Разработанные подмодели относятся к различным областям знания (экономика, демография, океанология, почвоведение и агрофизика). Продемонстрирована динамика элементов модели за 100 лет.

Когнитивная модель системы дает возможность определения разных целевых показателей, направленных на оценку возможностей повышения уровня жизни населения, рационального использования и охраны окружающей среды, развитие социальной сферы Беломорья, важных для достижения устойчивого развития региона [Меншуткин и др., 2018]. Результаты могут служить основой для построения моделей, необходимых при разработке систем поддержки принятия управленческих решений. Когнитивная модель Белого моря рассматривается как инструмент для синтеза разнородной информации о сложной эколого-социо-экономической системе. Применяется концептуальное моделирование и математический аппарат непрерывной или размытой логики.

В отличие от традиционных когнитивных моделей в настоящей предусматривается из-

менение переменных во времени за 100 лет, что позволяет описать связь агентов взаимодействия и охарактеризовать механизмы их взаимной адаптации. Временной шаг модели принят равным одному году. Показано, что экономические параметры мало зависят от изменений климата, в то время как эти изменения оказывают заметное влияние на уровень жизни населения, экосистему Белого моря, которые проявляются в колебаниях температуры воды, биомассе фито- и зоопланктона, вылове рыб, но малозаметны в изменениях бентоса. Показана зависимость оттока населения Беломорья от размеров валового регионального продукта, наличия производственных фондов и качества воды [Меншуткин и др., 2018; Меншуткин, Филатов, 2020].

Примеры практических разработок ИВПС КарНЦ РАН

Специализированная геоинформационная система «Водные объекты Республики Карелия»

Разработана совместно с ПетрГУ и внедрена в органы управления Республики Карелия как подсистема единой ГИС «Современное

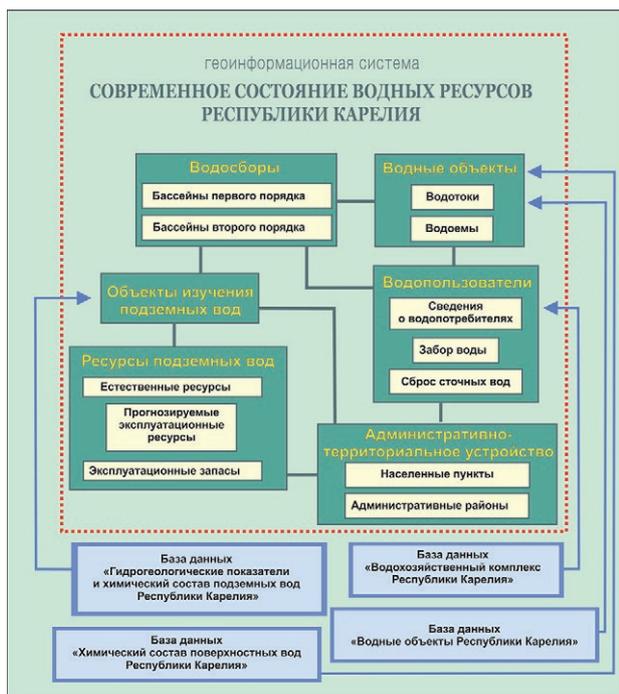


Рис. 20. ГИС «Водные объекты Республики Карелия» – один из инструментов общей системы управления водными ресурсами региона [Богданова и др., 2014]

Fig. 20. GIS “Republic of Karelia waters” – a tool in the unified system of regional water management [Bogdanova et al., 2014]

состояние водных ресурсов Республики Карелия», обеспечивающей формирование, ведение и представление тематической информации по водному фонду региона (рис. 20). Может служить прототипом для создания подобных ГИС других регионов РФ, для организаций, принимающих решения в сфере водных отношений [Богданова и др., 2014]. Свидетельство об официальной регистрации № 2011620139 от 16.02.2011.

Улучшение питьевого водоснабжения населения Карелии с использованием подземных вод

Выполненные ИВПС КарНЦ РАН исследования в сотрудничестве с другими организациями Карелии (Институтом геологии КарНЦ РАН, Карельской геологической экспедицией, Республиканской энергетической комиссией), Правительством РК и финскими партнерами из Центра окружающей среды Северного Саво (Куопио), Института вод и окружающей среды (SUKE), фирм «Земля и Вода» и Finmar (Хельсинки) при поддержке Министерства окружающей среды, лесного и сельского хозяйства Финляндии позволили существенно повысить

гидрогеологическую изученность региона, открыли возможность более широкого использования подземных вод в РК, а в ряде районов осуществить внедрение полученных знаний для решения практических задач.

Впервые созданы электронный и бумажный каталог озер и рек РК, информационная база данных о подземных водах, которая постоянно пополняется.

Исследования, осуществляемые в виде нескольких подпрограмм, успешно завершены, а полученные научные сведения имеют большое практическое значение для РК. В результате совместных карельско-финляндских многолетних исследований дана оценка запасов и качества подземных вод четвертичных отложений. Найдены запасы подземных вод высокого качества для снабжения населения Карелии в районе населенных пунктов Суоярви, Поросозеро, Калевала, Кижы, Пряжа, Лоухи, Надвоицы, Чупа (рис. 21).

Для всех рассмотренных пунктов подготовлены локальные программы развития, в которых показывается современное состояние водоснабжения, оцениваются потребности в воде на перспективу, дается анализ существующих проблем и предлагаются возможные принци-



Рис. 21. Разведанные месторождения подземных вод
Fig. 21. Proven groundwater fields

пиальные варианты, которые основаны на экономических расчетах. Качество подземных вод, как правило, соответствует требованиям нормативных документов. За период с 2008 по 2012 г. ИВПС провел разведку шести месторождений подземных вод с запасами от 150 до 2600 м³/сут. с внесением их в Государственный реестр. С учетом природных условий республики возможен перевод на подземное водоснабжение значительной части населенных пунктов (30–40 %), как и в соседней Финляндии, что значительно повлияло бы на снижение заболеваемости населения, в том числе и онкологией. Таким образом, сделан значительный вклад в важную задачу – улучшение питьевого водоснабжения населения республики [Водные..., 2006].

Комплексные атласы Республики Карелия и «Белое море и водосбор»

В 2020 г. ИВПС КарНЦ РАН при участии коллег из других институтов Карельского научного центра РАН, Петрозаводского государственного университета, Национального музея Республики Карелия разработал макет географического атласа Республики Карелия, который представлен в формате PDF на 45 стр. и содержит 66 карт в масштабах 1:2 000 000–1:6 000 000, а также фотографии, графики, схемы и разнообразную статистическую информацию о регионе (рис. 22). Большую помощь оказали ряд министерств и ведомств республики, которые предоставили данные. Атлас будет полезен научным работникам, преподавателям, студентам, школьникам, туристам, охотникам и рыбакам, руководителям разного уровня, жителям Республики Карелия.

Атлас «Белое море и водосбор»

При участии соисполнителей из ИГ КарНЦ РАН, ИПМИ, ИЭ, ИЯЛИ КарНЦ РАН, Географического факультета МГУ им. Ломоносова Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН составлен комплексный общегеографический атлас «Белое море и водосбор». Макет атласа создан на основе актуальной цифровой карты масштаба 1:1 000 000 и мелкомасштабных карт 1:2 000 000–1:6 000 000 для регионов, расположенных на водосборе Белого моря (Архангельская, Вологодская, Мурманская области, Республики Карелия и Коми, Ненецкий национальный округ). Это комплексное произведение, характеризующее актуальные сведения о природе, социо-экономике, населении, памятниках культуры и природы Беломорья (рис. 23).

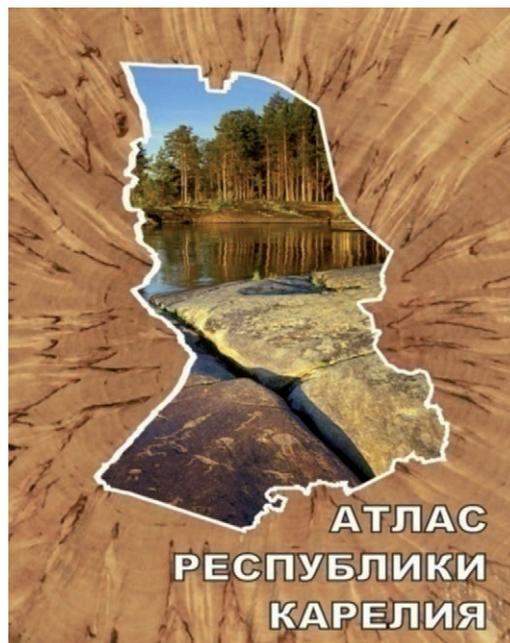


Рис. 22. Обложка атласа Республики Карелия
Fig. 22. Cover of Atlas of the Republic of Karelia

Данная работа будет способствовать охране и рациональному использованию ресурсов Белого моря и его водосбора, важна при планировании экономической деятельности, развития туризма, рекреации, проектировании объектов экономики, ООПТ, для образовательной деятельности, а также для принятия управленческих решений, что очень важно в связи с активизацией деятельности в Арктике, Арктической зоне РФ. Работа выполнена по гранту РГО [Филатов и др., 2014; Толстиков и др., 2017].

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике

Сотрудниками ИВПС КарНЦ РАН создано новое научно-методическое пособие, которое охватывает важнейшие аспекты современной практической гидрохимии [Аналитические..., 2017] (рис. 24). В нем дается подробное описание различных современных методик анализа воды и подходов к оценке состояния водных объектов с использованием химических данных, а также кинетических и расчетных методов. Обобщение выполнено по результатам анализа природных вод с использованием как российских, так и зарубежных подходов, а также результатов международного проекта по интеркалибрации гидрохимических методов «ICP Waters» (с 1999 по 2015 г.). Получены важные результаты межлабораторного сличения результатов анализа органического вещества, биогенных элементов в природных водах из 12



Рис. 23. Атлас «Белое море и водосбор»

Fig. 23. Atlas of the “White Sea and Drainage Basin”

лабораторий России. Представлены теоретические модели трансформации и внутриводоемного круговорота лабильных компонентов

в водной среде, принципы нормирования допустимой нагрузки на водные объекты с учетом их ассимиляционной способности и степени загрязнения вод, установленной по региональным ПДК. Рассмотрено применение информационных систем для обработки гидрохимической информации и обеспечения репрезентативности аналитических данных.

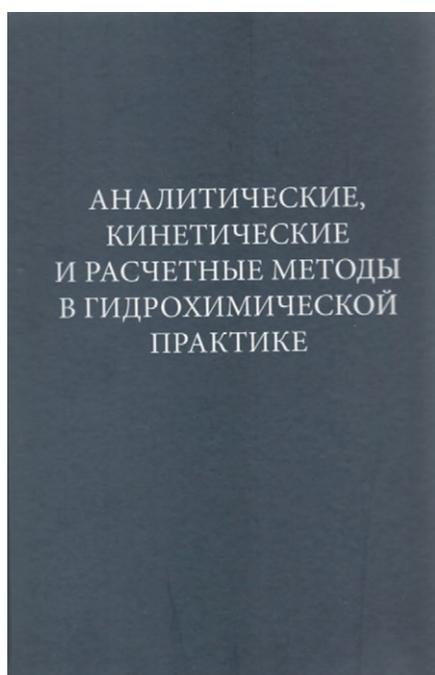


Рис. 24. Научно-методическое пособие, охватывающее важнейшие аспекты современной практической гидрохимии, созданное под ред. П. А. Лозовика и Н. А. Ефременко

Fig. 24. The guidebook covering the most important aspects of modern practical hydrochemistry, eds. P. A. Lozovik and N. A. Efremenko

Оценка диффузного поступления загрязняющих веществ из донных отложений Иваньковского водохранилища. Проект «Оздоровление Волги»

ИВПС КарНЦ РАН разработаны методические рекомендации для оценки неконтролируемого диффузного поступления загрязняющих веществ в водные объекты из донных отложений. Оценка внутренней нагрузки Иваньковского водохранилища базировалась на комплексном подходе с учетом гидрологических, гидродинамических, морфометрических особенностей водоема и типа загрязнения [Белкина и др., 2019]. Для Иваньковского водохранилища, которое является типичным представителем водохранилищ долинного типа, было показано, что взвешенное вещество (с которым в водных системах мигрирует большая часть тяжелых металлов и токсичных гидрофобных органических веществ, таких как нефтяные углеводороды) и биогенные элементы (во взвешенной и растворенной форме) являются основными загрязняющими компо-

нентами, поступающими из донных отложений обратно в воду. Общее поступление в водную толщу загрязняющих веществ за год в результате взмучивания донных отложений Иваньковского плеса в зависимости от ветровой ситуации и уровня режима вод оценивается в следующих пределах: всего твердых веществ 9400–34 600 т, из них 9–925 т фосфора и 2–35 т нефтяных углеводородов. Поступление фосфора в растворимой форме из донных отложений в воду в зоне седиментации и застойной зоне сравнимы по величине с внешней фосфорной нагрузкой [Гатальская, Белкина, 2020].

Работа выполнена по проекту «Оздоровление Волги»; раздел ИВПС КарНЦ РАН «Оценка диффузного поступления загрязняющих веществ из донных отложений Иваньковского водохранилища» [Белкина и др., 2019; Гатальская, Белкина, 2020].

Климат и комфортность проживания населения в Карелии

По запросу Комитета по региональной политике и проблемам Севера и Дальнего Востока Совета Федерации РФ выполнены оценки влияния климата на комфортность проживания населения Карелии [Назарова, Филатов, 2004; Назарова, 2011] в связи с рассмотрением Минэкономразвития РФ критериев и методических подходов для районирования территории РФ по природным условиям жизнедеятельности населения. По климатическому районированию территорию Восточной Финноскандии относят к умеренно холодному климату с устойчивым снежным покровом зимой и избыточным увлажнением во все времена года. Комфортные климатические условия (температура воздуха 20 °С и относительная влажность воздуха 35–65 %) наблюдаются только в 3 % случаев. Устойчивого периода комфортных климатических условий в Карелии нет в связи с высокой влажностью и сравнительно низкими температурами. В среднем для Карелии число дней с относительной влажностью воздуха более 80 % в течение суток составляет за год 150–170, а с влажностью менее 30 % – всего 3–9 дней. Устойчивый период с температурой воздуха выше 15 °С по северу Карелии бывает только в теплые годы (обеспеченность менее 50 %). Резкие колебания метеорологических параметров оказывают сильное воздействие на организм человека и вызывают различные патологические состояния и обострение болезней. Данный аспект не учитывался в методике, предложенной Минэкономразвития РФ в 2003 г. Для Карелии характерна интенсивная

циклоническая деятельность, относительно быстрая смена синоптических процессов, которые обуславливают значительную изменчивость, порой даже в течение суток, значений метеорологических элементов и параметров. Суточные амплитуды колебаний температуры воздуха могут достигать 20–22 °С, атмосферного давления – 38–40 гПа. Теоретически возможная продолжительность солнечного сияния (ПСС) в Карелии составляет 4530 час/год. Однако действительное ее значение из-за пасмурной погоды, повторяемость которой за год – 69 % по общей и 48 % по нижней облачности, составляет 37 % возможной и равна в среднем 1674 ч. В Петрозаводске за год наблюдается в среднем 119 дней без солнца.

При районировании территории по комфортности и дискомфорта проживания населения важно использовать как зональный принцип районирования, который в своей основе учитывает преимущественно распространение растительных зон (индекс вегетации), так и азональный. При таком подходе будут более корректно учитываться особенности геолого-тектонического строения, рельефа, что непосредственно оказывает формирующее влияние на ландшафтную структуру, в том числе и на растительность. Имеющийся опыт дает основание считать универсальным для территориального эколого-географического анализа геосистемный, или ландшафтно-географический, принцип, основанный на ландшафтной структуре территории. В соответствии с указанными критериями территорию Карелии следует отнести к районам с некомфортными условиями проживания. Результаты представлены в Комитет по региональной политике и проблемам Севера и Дальнего Востока в Совете Федерации РФ (В. Н. Пивненко) и доложены на заседании комитета Совета Федерации РФ [Назарова, Филатов, 2004; Назарова, 2011].

Участие в работах по совершенствованию законодательства для сохранения экосистем водоемов

ИВПС КарНЦ РАН в 2014–2020 гг. принимал участие в деятельности рабочей группы Законодательного собрания РК по разработке проекта Закона об охране экосистем Ладожского и Онежского озер. Институтом высказано мнение, что для реализации разрабатываемого закона потребуются создание федеральной целевой программы, как это сделано для реализации Закона об охране озера Байкал, или приоритетного проекта, как для решения проблем р. Волги. Разрабатываемый закон

должен учитывать огромный потенциал природных ресурсов озер (ассимиляционный потенциал), существенно превосходящий относительно небольшие затраты на реализацию ФЦП. На основе многолетних исследований Ладожского и Онежского озер рекомендовано уменьшить поступление биогенных элементов: для Ладожского озера до уровня 1800 т Р/год, что более чем на четверть меньше нагрузки, имевшей место до 1962 г., а для Онежского озера фосфорная нагрузка должна быть менее 600 т Р/год. Рекомендовано строительство и совершенствование комплексов очистных сооружений в населенных пунктах на берегах озер, снижение поступления $P_{\text{общ}}$ с очистных сооружений, использование наилучших водоохраных технологий. Необходима регламентация рыбоводства на озерах из-за интенсивного развития товарного форелеводства; продолжение работ по совершенствованию законодательства в области охраны и рационального использования ресурсов озер. Требуется разработка систем для принятия управленческих решений, основанных на научных знаниях и современных информационных технологиях. Необходимо совершенствование системы наблюдений (мониторинга) и прогнозирования состояния водных экосистем при разных сценариях изменений климата и антропогенного влияния.

Сведения о состоянии и возможных изменениях экосистем крупнейших пресноводных озер Европы Ладожского и Онежского представлены рабочей группе Законодательного собрания Республики Карелия (2014–2019 гг.) [Филатов, 2017]. Ежегодно ИВПС КарНЦ РАН дает информацию о водных объектах Севера ЕЧР Министерству природных ресурсов и экологии РК, которые публикуются в специализированных сборниках о состоянии окружающей среды. Сотрудники ИВПС выступали на заседаниях Госдумы и Федерального Собрания РФ с сообщениями о состоянии водных объектов Севера. ИВПС предоставляет сведения о состоянии и возможных изменениях экосистем озер по запросам ОНЗ РАН и Совета безопасности РФ. Институт участвует в работе Советов: по водным ресурсам при ОНЗ РАН, глобальной экологии при Президиуме РАН; Экспертных Советов: РГО, Президентских проектов и программ, РФФИ, РАН и Минобрнауки и высшего образования РФ. Сотрудники ИВПС участвуют в работе редколлегий научных журналов и в деятельности международных организаций Northern Research Basins (NRB) и Society International Limnology (SIL), а также в деятельности Русского географического общества.

Примеры проектов, по которым получены важные фундаментальные и практические результаты

- «Распространение микрочастиц антропогенных полимеров (микропластика) и ассоциированных с ними тяжелых металлов и их соединений в крупных водных объектах суши (на примере Онежского озера)», грант РНФ 19-17-00035. 2019–2021 гг. Рук. к. т. н. М. Б. Зобков.
- «Озера России – диагноз и прогноз состояния экосистем при климатических и антропогенных воздействиях», грант РНФ № 14-17-00740. 2014–2018 гг. Рук. чл.-корр. РАН Н. Н. Филатов.
- «Онежское озеро и его водосбор: история геологического развития, освоение человеком и современное состояние», грант РНФ № 14-18-00766. 2014–2016 гг. Рук. д. г. н. Д. А. Субетто.
- «Палеолимнология Онежского озера: строение, процессы накопления и трансформация донных отложений», грант РНФ № 14-17-00766. 2018–2020 гг. Рук. д. г. н. Д. А. Субетто.
- Грант ИНТАС «FLake» (<http://lakemodel.net>, зеркало на <http://nwpi.krc.karelia.ru/flake>). Разработанная ранее озерная модель FLake внедрена в численный прогноз погоды для Европы. Рук. от ИВПС к. т. н. А. Ю. Тержевик.
- «Устойчивое многофункциональное использование водных ресурсов Севера РФ, зарубежных стран». Проект Минэкономразвития РК. Рук. от ИВПС чл.-корр. РАН Н. Н. Филатов.
- Проект разработки научно-исследовательского судна «Полярный Одиссей» для исследований и мониторинга Арктики, который вошел в программу совместной реализации наиболее перспективных проектов в рамках сотрудничества Санкт-Петербурга и Республики Карелия (Минэкономразвития РК). Рук. от ИВПС чл.-корр. РАН Н. Н. Филатов.

Примеры баз данных, созданных ИВПС КарНЦ РАН

- «Белое море и его водосбор». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2010620435 от 16.08.2010 г. Авторы: Толстикова А. В., Филатов Н. Н., Здорвеннов Р. Э.
- «Визуализация и сравнение результатов моделирования термохалинных и гидродинамических полей Белого моря». Свидетельство об официальной регистрации программ

- для ЭВМ № 2014618474 от 21.08.2014 г. Авторы: Чернов И. А., Толстикова А. В.
- «Водные объекты Республики Карелия». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620139 от 16.02.2011. Авторы: Литвиненко А. В., Филатов Н. Н., Богданова М. С.
 - «Водные ресурсы Европейского Севера России и их использование». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016621558 от 18.01.2017. Авторы: Богданова М. С., Филатов Н. Н., Литвиненко А. В.
 - «Водохозяйственный комплекс Республики Карелия». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620136 от 16.02.2011. Авторы: Литвиненко А. В., Богданова М. С., Филатов Н. Н.
 - «Гидрологические характеристики озер России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621718 от 02.11.2018. Авторы: Филатов Н. Н., Баклагин В. Н., Богданова М. С., Балаганский А. Ф.
 - «Макрозообентос Онежского озера». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012620882 от 31.08.2012. Автор: Полякова Т. Н.
 - «Озера Карелии». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620137. 2011 г. Авторы: Филатов Н. Н., Кухарев В. И., Потахин М. С.
 - «Планктон пелагиали Онежского озера». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620274 от 13.02.2015. Авторы: Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А.
 - «Ресурсный потенциал кормовой базы Онежского озера: фитопланктон Онежского озера». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621090 от 16.07.2018. Автор: Чекрыжева Т. А.
 - «Сток рек бассейна Белого моря». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621833 от 19.11.2018 г. Авторы: Карпечко В. А., Махальская Н. И., Балаганский А. Ф., Толстикова А. В.
 - «Хлорофилл «а» в воде Онежского озера». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2018621068 от 13.07.2018. Авторы: Сабылина А. В., Теканова Е. В., Калинин Н. М.
 - «Электронный атлас Белого моря и его водосбора». Свидетельство о регистрации базы данных № 2017620252 от 01.03.2017. Авторы: Толстикова А. В., Филатов Н. Н., Богданова М. С., Литвиненко А. В., Карпечко В. А., Дерусова О. В., Балаганский А. Ф.

Литература

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

Белкина Н. А. Особенности процесса трансформации органического вещества в донных отложениях озер Карелии и его влияние на химический состав придонных вод // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019 г. Т. 5(15), вып. 4. С. 263–276.

Белкина Н. А. Фосфор в донных отложениях Онежского озера // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2015. № 173. С. 97–109.

Белкина Н. А., Казмирук В. Д., Потахин М. С. Поступление фосфора из донных отложений Ивановского водохранилища в составе взвешенного вещества // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Матер. II Междунар. конф. Казань: АН РТ, 2019. Ч. 2. С. 33–38.

Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Под ред. Н. Н. Филатова, А. Ю. Тержевика. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 335 с.

Биоресурсы Онежского озера / Отв. ред. В. И. Кухарев, А. А. Лукин. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 272 с.

Богданова М. С., Литвиненко А. В., Филатов Н. Н. ГИС «Водные объекты Республики Карелия» как инструмент для решения задач управления водными ресурсами и их использования. Ростов-на-Дону, 2014. С. 45–49.

Бородулина Г. С., Каменский И. Л., Скиба В. И., Токарев И. В. Закономерности формирования железистых минеральных вод курорта «Марциальные воды» (Карелия) по изотопно-геохимическим данным // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ. 2020. № 17. С. 61–65. doi: 10.31241/FNS.2020.17.011

Бородулина Г. С., Левичев М. А., Субетто Д. А. Оценка использования ресурсного потенциала подземных вод Республики Карелия // Общество. Среда. Развитие. 2017. № 4. С. 152–156.

Водные ресурсы и проблема питьевого водоснабжения. Опыт сотрудничества Карелии и Финляндии / Ред. Н. Филатов, А. Литвиненко, А. Саркиоя, Р. Портикиви, Т. Регеранд. Петрозаводск; Куопио, 2006. 263 с.

Выручалкина Т. Ю., Филатов Н. Н., Дианский Н. А., Гусев А. Н. О прогнозе многолетних изменений уровня воды крупных озер // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 9. С. 3–16. doi: 10.17076/lim480

Гатальская Е. В., Белкина Н. А. Особенности накопления фосфора в донных отложениях Ивановского водохранилища // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2020. Т. 6(16), № 4. С. 139–153. doi: 10.37279/2309-7663-2020-6-2-139-153

Голосов С. Д., Зверев И. С., Шилунова Е. А. Моделирование термогидродинамических процессов и экосистем Ладожского и Онежского озер на основе 3D-модели гидродинамики внутреннего моря (МГВМ) // Диагноз и прогноз термогидродинамики

и экосистем великих озер России / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. С. 166–196.

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

Здоровеннова Г. Э., Гавриленко Г. Г., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В., Волков С. Ю., Богданов С. Р., Тержевик А. Ю., Голосов С. Д., Зверев И. С., Здоровеннов Р. Э. Динамика вод небольшого озера в период открытой воды (по данным измерений течений и температуры) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2018. Т. 4(14), вып. 3. С. 54–68.

Зобков М. Б. Методы обработки геоинформационных данных состояния водных объектов: Дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск, 2012. 178 с.

Исаев А. В., Савчук О. П. Диагноз состояния экосистемы Ладожского озера и прогноз изменений при возможном изменении климата на основе математического моделирования биогеохимических потоков вещества // Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. С. 197–208.

Каталог озер и рек Карелии / Под ред. Н. Н. Филатова и А. В. Литвиненко. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2001. 289 с.

Калинкина Н. М., Белкина Н. А. Динамика состояния бентосных сообществ и химического состава донных отложений Онежского озера в условиях действия антропогенных и природных факторов // Принципы экологии. 2018. № 2. С. 56–74. doi: 10.15393/j1.art.2018.7643

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сабылина А. В., Рыжаков А. В. Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 1. С. 62–72. doi: 10.31857/S2587-55662019162-72

Калинкина Н. М., Филатов Н. Н., Теканова Е. В., Балаганский А. Ф. Многолетняя динамика стока железа и фосфора в Онежское озеро с водами р. Шуя в условиях климатических изменений // Региональная экология. 2018. № 2(52). С. 7–15.

Карпечко Ю. В., Бондарик Н. Л. Гидрологическая роль лесохозяйственных и лесопромышленных работ в таежной зоне Европейского Севера России. Петрозаводск: КарНЦ, 2010. 225 с.

Карпечко Ю. В., Нестеренко И. М. Водный и тепловой режим осушаемых болот и заболоченных земель Карелии. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 1996. 118 с.

Кауфман Э. С. Происхождение биоты континентальных водоемов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2005. 258 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.

Литвиненко А. В., Филатов Н. Н., Богданова М. С. Водохозяйственная ситуация в Республике Карелия: современное состояние и динамика // Водное хозяйство России. 2019. № 2. С. 31–47.

Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–592.

Лозовик П. А. Оценка ассимиляционной способности к фосфорной и органической нагрузкам и нормирование допустимого антропогенного воздействия на водные объекты по кинетической и гидрогеохимической моделям // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 88–95.

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.

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н. Моделирование оптимального управления эколого-социально-экономической системой водоем-водосбор на примере Беломорья // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 3. С. 506–515. doi: 31857/S0321059620030116

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н. Моделирование эколого-социально-экономической системы Белого моря и его водосбора // МГИ. 2021. № 1. С. 662–680. doi: 10.22449/0233-7584-2021-1-532-544

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н., Дружинин П. В. Состояние и прогнозирование социально-эколого-экономической системы водосбора Белого моря с использованием когнитивного моделирования // Арктика. Экология и экономика. 2018. № 2(30). С. 79–85. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н., Потахин М. С. Экспертная система «Озера Карелии». 1. Ординарные и номинальные признаки озер // Водные ресурсы. 2009а. Т. 36, № 2. С. 160–171.

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н., Потахин М. С. Экспертная система «Озера Карелии». 2. Классификация озер // Водные ресурсы. 2009б. Т. 36, № 3. С. 300–311.

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н., Потахин М. С. Экспертная система «Озера Карелии» // Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Назарова Л. Е. Об оценке комфортности климата Карелии // Труды КарНЦ РАН. 2011. № 4. С. 129–133.

Назарова Л. Е., Филатов Н. Н. О комфортности климата Карелии // Климат Карелии: Изменчивость и влияние на водные объекты / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2004. С. 193–204.

Онежское озеро. Атлас / Под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.

Озера Карелии. Справочник / Ред. Н. Н. Филатов, В. И. Кухарев. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 461 с.

Румянцев В., Филатов Н. Состояние Ладожского и Онежского озер требует принятия срочных мер по сохранению их ресурсов и восстановлению экосистем // Вода Magazine. 2018. № 10(134). С. 40–44.

Руховец Л. А., Филатов Н. Н. Озера и климат: модели и методы // Модели и методы в проблеме вза-

имодействия атмосферы и гидросферы: учебное пособие / Под ред. В. П. Дымникова, В. Н. Лыкосова, Е. П. Гордова. Томск: ТГУ, 2014. С. 256–326.

Руховец Л. А., Филатов Н. Н., Терзевик А. Ю., Астраханцев Г. П., Минина Т. Р., Мальгин А. Н., Петрова Н. А., Полосков В. Н., Белкина Н. А., Ефремова Т. В., Назарова Л. Е., Сало Ю. А., Сабылина А. В., Тимакова Т. М. Онежское озеро сегодня и завтра: опыт математического моделирования // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. С. 127–153.

Рыжаков А. В. Круговорот азотсодержащих веществ в природных водах // Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П. А. Лозовика, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. С. 86–88.

Теканова Е. В., Калинкина Н. М., Кравченко И. Ю. Геохимические особенности функционирования биоты в водоемах Карелии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2018. № 1. С. 90–100. doi: 10.7868/S2587556618010083

Терзевик А. Ю., Голосов С. Д., Гавриленко Г. Г., Здорovenнов Р. Э., Здорovenнова Г. Э., Волков С. Ю., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В., Богданов С. Р. Возможное влияние «необычной» весны на режим растворенного кислорода в мелководном озере в летний период // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 10. С. 17–27. doi: 10.17076/lim712

Толстиков А. В., Чернов И. А. Изменчивость биогеохимических процессов в Белом море для разных климатических условий по данным моделирования // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 6. С. 92–102. doi: 10.17076/eb950

Толстиков А. В., Чернов И. А., Мурзина С. А., Мартынова Д. М., Яковлев Н. Г. Разработка комплекса Green JASMINE для изучения и прогнозирования состояния экосистем Белого моря // Труды КарНЦ РАН. 2017. № 5. С. 23–32. doi: 10.17076/eb501

Филатов Н. Н. Новый географический атлас Карелии // Современные проблемы четвертичной геологии и географии Северо-Запада европейской части России и сопредельных стран: Матер. науч. сессии (с участием иностранных специалистов), посв. 100-летию со дня рождения Г. С. Бискэ (Петрозаводск, 9–10 марта 2017 г.) / Под ред. Т. С. Шелеховой. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2017. С. 75–77.

Филатов Н. Н., Выручалкина Т. Ю., Дианский Н. А., Назарова Л. Е., Синюкович В. Н. Внутривековая изменчивость уровня крупнейших озер России // ДАН. 2016а. Т. 467, № 5. С. 589–593.

Филатов Н. Н., Выручалкина Т. Ю., Назарова Л. Е. Внутривековая изменчивость уровня воды великих озер Евразии и Северной Америки // Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России / Под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020а. С. 96–100.

Филатов Н. Н., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Назарова Л. Е., Пальшин Н. И., Руховец Л. А., Толстиков А. В., Шаров А. Н. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на измене-

ния климата // ДАН. 2012. Т. 444, № 5. С. 554–557. doi: 10.1134/S1028334X1206013X

Филатов Н. Н., Здорovenнов Р. Э., Терзевик А. Ю., Хуттер К. Нелинейные внутренние волны в крупном озере // ДАН. 2011. Т. 441, № 5. С. 1–4.

Филатов Н. Н., Литвиненко А. В., Богданова М. С. Современное состояние и динамика водного хозяйства субъектов Российской Федерации на территории бассейна Белого моря // Арктика. Экология и экономика. 2020б. № 4(40). С. 19–33. doi: 10.25283/2223-4594-2020-4-19-33

Филатов Н. Н., Литвиненко А. В., Богданова М. С., Карпечко В. А. Водные ресурсы Северного экономического района России: состояние и использование // Водные ресурсы. 2016б. Т. 43, № 5. С. 502–514.

Филатов Н. Н., Толстиков А. В., Богданова М. С., Литвиненко А. В., Меншуткин В. В. Создание информационной системы и электронного атласа по использованию ресурсов Белого моря и его водосбора // Арктика. Экология и экономика. 2014. № 3(15). С. 18–29.

Шаров А. Н., Толстиков А. В. Гидрологический и биологический режимы озер Восточной Антарктиды // Трансформация экосистем. 2020. Т. 3(3). С. 77–86. doi: 10.23859/estr-200318

Яковлев Н. Г. Воспроизведение крупномасштабного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана в 1948–2002 гг. Часть 1: Численная модель и среднее состояние // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45, № 3. С. 1–16.

Bogdanov S., Zdorovennova G., Volkov S., Zdorovennov R., Palshin N., Efremova T., Terzhevik A., Bouffard D. Structure and dynamics of convective mixing in Lake Onego under ice-covered conditions // Inland Waters. 2019. Vol. 9, iss. 2: Life under Ice in Lake Onego (Russia) – An Interdisciplinary Winter Limnology Study. P. 177–192. doi: 10.1080/20442041.2018.1551655

Chernov I., Lazzari P., Tolstikov A., Kravchishina M., Yakovlev N. Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study // J. Mar. Syst. 2018. Vol. 187. P. 23–35. doi: 10.1016/j.jmarsys.2018.06.006

Chernov I., Tolstikov A. The White Sea: available data and numerical models // Geosci. 2020. Vol. 10. Art. 463. doi: 10.3390/geosciences10110463

Golosov S., Terzhevik A., Zverev I., Kirillin G., Engelhardt C. Climate change impact on thermal and oxygen regime of shallow lakes // Tellus A. 2012. Vol. 64. Art. 17264. doi: 10.3402/tellusa.v64i0.17264

Filatov N., Pozdnyakov D., Johannessen O., Pettersen L., Bobilev L. White Sea: its marine environment and ecosystem dynamics influenced by global change. London: Springer-Praxis, 2005. 472 p.

Filatov N., Baklagin V., Efremova T., Nazarova L., Palshin N. Climate change impacts on the watersheds of Lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in-situ data // Inland Waters. 2019. Vol. 9(2). P. 130–141. doi: 10.1080/20442041.2018.1533355

Filatov N., Terzhevik A., Zdorovennov R., Vlasenko V., Stashchuk N., Hutter K. Strongly nonlinear internal waves in lakes: generation, transformation // Field Studies of Non-Linear Internal Waves in Lakes on the Globe. Ch. 2. Springer, 2012. P. 25–106.

Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? // *J. Great Lakes Res.* 2020. Vol. 46. P. 850–861. doi: 10.1016/j.jglr.2020.02.008

Ladoga and Onego – Great European lakes. Observations and modeling / Eds. L. Rukhovets, N. Filatov. Springer, 2010. 302 p.

Lozovik P. A., Ryzhakov A. V. Transformation and cycle of labile substances and production-destruction processes in lake ecosystems // *J. Siberian Fed. Univ. Biol.* 2017. Vol. 10(4). P. 404–421.

Mironov D., Heise E., Ritter B., Kourzeneva E., Schneider N., Terzhevik A. Implementation of the lake parameterisation scheme FLake into the numerical weather prediction model COSMO // *Boreal Env. Res.* 2010. Vol. 15. P. 218–230.

References

Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice]. Eds. P. A. Lozovik, N. A. Efremenko. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. 272 p.

Belkina N. A. Osobennosti protsessy transformatsii organicheskogo veshchestva v donnykh otlozheniyakh ozer Karelii i ego vliyaniye na khimicheskii sostav pridonnykh vod [Features of the process of transformation of organic matter in bottom sediments of lakes in Karelia and its impact on the chemical composition of bottom waters]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions]. 2019. Vol. 5(15), iss. 4. P. 263–276.

Belkina N. A. Fosfor v donnykh otlozheniyakh Onezhskogo ozera [Phosphorus in bottom sediments of Lake Onego]. *Izvestiya RGPU im. A. I. Gertsena* [Izvestia: Herzen Univ. J.]. 2015. No. 173. P. 97–109.

Belkina N. A., Kazmiruk V. D., Potakhin M. S. Postuplenie fosfora iz donnykh otlozhenii Ivan'kovskogo vodokhranilishcha v sostave vzheshennogo veshchestva [Phosphorus inflow from bottom sediments of the Ivan'kovskoye reservoir in the suspended matter]. *Ozera Evrazii: probl. i puti ikh resheniya: Mater. II Mezhdunar. konf.* [Lakes of Eurasia: probl. and solutions: Proceed. II int. conf.]. Kazan': AN RT, 2019. Pt. 2. P. 33–38.

Beloe more i vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [The White Sea and its catchment under climatic and man-induced impact]. Eds. N. N. Filatov, A. Yu. Terzhevik. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 335 p.

Bioresursy Onezhskogo ozera [Biological resources of Lake Onego]. Eds. V. I. Kukharev, A. A. Lukin. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2008. 272 p.

Bogdanova M. S., Litvinenko A. V., Filatov N. N. GIS "Vodnye ob'ekty Respubliki Kareliya" kak instrument dlya resheniya zadach upravleniya vodnymi resursami i ikh ispol'zovaniya [GIS *Water bodies of the Republic of Karelia* as a tool for solving problems of water resources management and their use]. Rostov-na-Donu, 2014. P. 45–49.

Borodulina G. S., Kamenskii I. L., Skiba V. I., Tokarev I. V. Zakonomernosti formirovaniya zhelezistykh mineral'nykh vod kurorta "Martsial'nye vody" (Kareliya) po izotopno-geokhimicheskim dannym [Regularities

Savchuk O. P. Large-scale nutrient dynamics in the Baltic Sea, 1970–2016 // *Front. Mar. Sci.* 2018. doi: 10.3389/fmars.2018.00095

Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Belkina N., Efremenko N. Distribution of elements in iron-manganese formations in bottom sediments of Lake Onego (NW Russia) and small lakes (Shotozero and Surgubskoe) of adjacent territories // *Minerals.* 2020. No. 10(5). Art. 440.

Wüest A., Pasche N., Ibelings B. W., Sharma S., Filatov N. Life under ice in Lake Onego (Russia) – an interdisciplinary winter limnology study // *Inland Waters.* Vol. 9, no. 2. 128 p. doi: 10.1080/20442041.2019.1634450

Поступила в редакцию 19.03.2021

of the formation of ferruginous mineral waters of the resort "Marcial waters" (Karelia) according to isotope-geochemical data]. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTs* [Proceed. Fersman Sci. Session of the State Institute of the KSC]. 2020. No. 17. P. 61–65. doi: 10.31241/FNS.2020.17.011

Borodulina G. S., Levichev M. A., Subetto D. A. Otsenka ispol'zovaniya resursnogo potentsiala podzemnykh vod Respubliki Kareliya [Assessment of the use of the resource potential of groundwater in the Republic of Karelia]. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie* [Terra Humana]. 2017. No. 4. P. 152–156.

Diagnoz i prognoz termogidrodinamiki i ekosistem velikikh ozer Rossii [Diagnosis and forecast of thermohydrodynamics and ecosystems of the great lakes of Russia]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2020. 255 p.

Filatov N. N. Novyi geograficheskii atlas Karelii [A new geographical atlas of Karelia]. *Sovr. probl. chetvertichnoi geol. i geografii Severo-Zapada evropeiskoi chasti Rossii i sopredel'nykh stran: Mater. nauch. sessii (s uchastiem inostrannykh spetsialistov), posv. 100-letiyu so dnya rozhdeniya G. S. Biske* (Petrozavodsk, 9–10 marta 2017 g.) [Current problems of the Quaternary geology and geography of the North-West of the European part of Russia and neighboring countries: Proceed. sci. sessions (with int. part.), dedicated. 100th anniv. of the birth of G. S. Biske (Petrozavodsk, March 9–10, 2017)]. Ed. T. S. Shelekhova. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2017. P. 75–77.

Filatov N. N., Vyrychalkina T. Yu., Dianskii N. A., Nazarova L. E., Sinyukovich V. N. Vnutrivekovaya izmenchivost' urovnya krupneishikh ozer Rossii [The interdecadal variability of the level in the largest lakes of Russia]. *DAN [Dokl. Acad. Sci.]*. 2016a. Vol. 467, no. 5. P. 589–593.

Filatov N. N., Vyrychalkina T. Yu., Nazarova L. E. Vnutrivekovaya izmenchivost' urovnya vody velikikh ozer Evrazii i Severnoi Ameriki [The interdecadal variability of the water level of the great lakes of Eurasia and North America]. *Diagnoz i prognoz termogidrodinamiki i ekosistem velikikh ozer Rossii* [Diagnosis and forecast of thermohydrodynamics and ecosystems of the great lakes of Russia]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2020a. P. 96–100.

Filatov N. N., Georgiev A. P., Efremova T. V., Nazarova L. E., Pal'shin N. I., Rukhovets L. A., Tolstikov A. V., Sharov A. N. Reaktsiya ozer Vostochnoi Fennoskandii i Vostochnoi Antarktity na izmeneniya klimata [The response of the lakes of East Fennoscandia and East Antarctica to climate change]. *DAN* [Dokl. Acad. Sci.]. 2012. Vol. 444, no. 5. P. 554–557. doi: 10.1134/S1028334X1206013X

Filatov N. N., Zdorovenov R. E., Terzhevik A. Yu., Khutter K. Nelineinye vnutrennie volny v krupnom oze-re [Nonlinear internal waves in a large lake]. *DAN* [Dokl. Acad. Sci.]. 2011. Vol. 441, no. 5. P. 1–4.

Filatov N. N., Litvinenko A. V., Bogdanova M. S. Sovremennoe sostoyanie i dinamika vodnogo khozyaistva sub'ektov Rossiiskoi Federatsii na territorii basseina Belogo morya [The current state and dynamics of the water economy of the constituent entities of the Russian Federation on the territory of the White Sea basin]. *Arktika. Ekol. i ekonomika* [Arctic. Ecol. and Economy]. 2020b. No. 4(40). P. 19–33. doi: 10.25283/2223-4594-2020-4-19-33

Filatov N. N., Litvinenko A. V., Bogdanova M. S., Karpechko V. A. Vodnye resursy Severnogo ekonomicheskogo raiona Rossii: sostoyanie i ispol'zovanie [Water resources of the Northern economic zone of Russia: current state and use]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2016b. Vol. 43, no. 5. P. 502–514.

Filatov N. N., Tolstikov A. V., Bogdanova M. S., Litvinenko A. V., Menshutkin V. V. Sozdanie informatsionnoi sistemy i elektronnoogo atlasa po ispol'zovaniyu resursov Belogo morya i ego vodosbora [Creation of an information system and an electronic atlas on the use of the resources of the White Sea and its catchment]. *Arktika. Ekol. i ekonomika* [Arctic. Ecol. and Economy]. 2014. No. 3(15). P. 18–29.

Gatal'skaya E. V., Belkina N. A. Osobennosti nakopleniya fosfora v donnykh otlozheniyakh Ivan'kovskogo vodokhranilishcha [Features of phosphorus accumulation in bottom sediments of the Ivankovskoye reservoir]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions]. 2020. Vol. 6(16), no. 4. P. 139–153. doi: 10.37279/2309-7663-2020-6-2-139-153

Golosov S. D., Zverev I. S., Shipunova E. A. Modelirovanie termogidrodinamicheskikh protsessov i ekosistem Ladozhskogo i Onezhskogo ozer na osnove 3D-modeli gidrodinamiki vnutrennego morya (MGVM) [Modeling of thermohydrodynamic processes and ecosystems of Lakes Ladoga and Onega based on a 3D model of the hydrodynamics of the inland sea (MGVM)]. *Diagnoz i prognoz termogidrodinamiki i ekosistem velikikh ozer Rossii* [Diagnosis and forecast of thermohydrodynamics and ecosystems of the great lakes of Russia]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2020. P. 166–196.

Isaev A. V., Savchuk O. P. Diagnoz sostoyaniya ekosistemy Ladozhskogo ozera i prognoz izmenenii pri vozmozhnom izmenenii klimata na osnove matematicheskogo modelirovaniya biogeokhimicheskikh potokov veshchestva [Diagnosis of the ecosystem state of Lake Ladoga and forecast of changes under possible climate change based on mathematical modeling of biogeochemical flows]. *Diagnoz i prognoz termogidrodinamiki*

i ekosistem velikikh ozer Rossii [Diagnosis and forecast of thermohydrodynamics and ecosystems of the great lakes of Russia]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2020. P. 197–208.

Katalog ozer i rek Karelii [A catalogue of lakes and rivers of Karelia]. Eds. N. N. Filatov, A. V. Litvinenko. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2001. 289 p.

Kalinkina N. M., Belkina N. A. Dinamika sostoyaniya bentosnykh soobshchestv i khimicheskogo sostava donnykh otlozhenii Onezhskogo ozera v usloviyakh deystviya antropogennykh i prirodnykh faktorov [Dynamics of benthic communities state and the sediment chemical composition in Lake Onega under the influence of anthropogenic and natural factors]. *Printsipy ekol.* [Principles of the Ecol.]. 2018. No. 2. P. 56–74. doi: 10.15393/j1.art.2018.7643

Kalinkina N. M., Tekanova E. V., Sabylina A. V., Ryzhakov A. V. Izmeneniya gidrokhimicheskogo rezhima Onezhskogo ozera s nachala 1990-kh godov [Changes in the hydrochemical regime of Onego Lake since the early 1990s]. *Izv. RAN. Ser. geogr.* [Proceed. RAS. Geogr. Ser.]. 2019. No. 1. P. 62–72. doi: 10.31857/S2587-55662019162-72

Kalinkina N. M., Filatov N. N., Tekanova E. V., Balaganskii A. F. Mnogoletnyaya dinamika stoka zheleza i fosfora v Onezhskoe ozero s vodami r. Shuya v usloviyakh klimaticheskikh izmenenii [Long-term dynamics of iron and phosphorus runoff into Lake Onega with the Shuya River under climate change conditions]. *Regional'naya ekol.* [Regional Ecol.]. 2018. No. 2(52). P. 7–15.

Karpechko Yu. V., Bondarik N. L. Gidrologicheskaya rol' lesokhozyaistvennykh i lesopromyshlennykh rabot v taezhnoi zone Evropeiskogo Severa Rossii [Hydrological role of forestry and timber industry operations in the taiga zone of the European North of Russia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 225 p.

Karpechko Yu. V., Nesterenko I. M. Vodnyi i teplovoi rezhim osushaemykh bolot i zabolochennykh zemel' Karelii [Water and thermal regime of drained bogs and wetlands of Karelia]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1996. 118 p.

Kaufman Z. S. Proiskhozhdenie bioty kontinental'nykh vodoemov [Origin of biota in continental water bodies]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2005. 258 p.

Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh [The largest lakes-reservoirs of the North-West of the European territory of Russia: the current state and changes in ecosystems under climatic and man-induced impact]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. 375 p.

Litvinenko A. V., Filatov N. N., Bogdanova M. S. Vodokhozyaistvennaya situatsiya v Respublike Kareliya: sovremennoe sostoyanie i dinamika [Water management situation in the Republic of Karelia: current state and dynamics]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii* [Water Sector of Russia]. 2019. No. 2. P. 31–47.

Lozovik P. A. Geokhimicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony na osnove ikh kislotno-osnovnogo ravnovesiya [Geochemical classification of surface waters in the humid zone based on their ac-

id-base balance]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2013. Vol. 40, no. 6. P. 583–592.

Lozovik P. A. Otsenka assimilatsionnoi sposobnosti k fosfornoj i organicheskoj nagruzkam i normirovanie dopustimogo antropogennogo vozdeistviya na vodnye ob'ekty po kineticheskoj i gidrogeokhimicheskoj modelyam [Assessment of assimilation ability to phosphorus and organic loads and standardization of permissible anthropogenic impact on water bodies according to kinetic and hydrogeochemical models]. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropejskoj territorii Rossii: sovr. sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh* [The largest lakes-reservoirs of the North-West of the European territory of Russia: the current state and changes in ecosystems under climatic and man-induced impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015. P. 88–95.

Lozovik P. A., Ryzhakov A. V., Sabylina A. V. Protsesy 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.

Menshutkin V. V., Filatov N. N. Modelirovanie optimal'nogo upravleniya ekologo-sotsio-ekonomicheskoi sistemoj vodoem-vodosbor na primere Belomor'ya [Modeling the optimal management of the ecological-socio-economic system of water body-catchment by the example of the White Sea region]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2020. Vol. 47, no. 3. P. 506–515. doi: 31857/S0321059620030116

Menshutkin V. V., Filatov N. N. Modelirovanie ekologo-sotsio-ekonomicheskoi sistemy Belogo morya i ego vodosbora [Modeling the ecological-socio-economic system of the White Sea and its catchment area]. *MGI* [Marine Hydrophysical Inst.]. 2021. No. 1. P. 662–680. doi: 10.22449/0233-7584-2021-1-532-544

Menshutkin V. V., Filatov N. N., Druzhinin P. V. So-stoyanie i prognozirovanie sotsio-ekologo-ekonomicheskoi sistemy vodosbora Belogo morya s ispol'zovaniem kognitivnogo modelirovaniya [The current state and forecasting of the socio-ecological-economic system of the White Sea catchment with the use of cognitive simulation]. *Arktika. Ekol. i ekonomika* [Arctic. Ecol. and Economy]. 2018. No. 2(30). P. 79–85. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17

Menshutkin V. V., Filatov N. N., Potakhin M. S. Ekspertnaya sistema "Ozera Karelii". 1. Ordinarnye i nominal'nye priznaki ozer [Expert system *Lakes of Karelia*. 1. Ordinary and nominal features of lakes]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2009a. Vol. 36, no. 2. P. 160–171.

Menshutkin V. V., Filatov N. N., Potakhin M. S. Ekspertnaya sistema "Ozera Karelii". 2. Klassifikatsiya ozer [Expert system *Lakes of Karelia*. 2. Classification of lakes]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2009b. Vol. 36, no. 3. P. 300–311.

Menshutkin V. V., Filatov N. N., Potakhin M. S. Ekspertnaya sistema "Ozera Karelii" [Expert system *Lakes of Karelia*]. *Ozera Karelii. Spravochnik* [Lakes of Karelia. A reference book]. Eds. N. N. Filatov, V. I. Kukharev. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. 464 p.

Nazarova L. E. Ob otsenke komfortnosti klimata Karelii [About assessment of comfortable climate of Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2011. No. 4. P. 129–133.

Nazarova L. E., Filatov N. N. O komfortnosti klimata Karelii [On the comfort of the climate in Karelia]. *Klimat Karelii: Izmenchivost' i vliyanie na vodnye ob'ekty* [Climate of Karelia: Variability and impact on water bodies]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2004. P. 193–204.

Onezhskoe ozero. Atlas [Lake Onego. An atlas]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2010. 151 p.

Ozera Karelii. Spravochnik [Lakes of Karelia. A reference book]. Eds. N. N. Filatov, V. I. Kukharev. Petrozavodsk: KarRC RAS. 461 p.

Rumyantsev V., Filatov N. Sostoyanie Ladozhskogo i Onezhskogo ozer trebuet prinyatiya srochnykh mer po sokhraneniyu ikh resursov i vosstanovleniyu ekosistem [The state of Lakes Ladoga and Onego requires urgent measures to preserve their resources and restore ecosystems]. *Voda Magazine* [Water Magazine]. 2018. No. 10(134). P. 40–44.

Rukhovets L. A., Filatov N. N. Ozera i klimat: modeli i metody [Lakes and climate: models and methods]. *Modeli i metody v probleme vzaimodeistviya atmosfery i gidrosfery: ucheb. posobie* [Models and methods in the problem of interaction between the atmosphere and the hydrosphere: a tutorial]. Eds. V. P. Dymnikova, V. N. Lykosova, E. P. Gordova. Tomsk: TGU, 2014. P. 256–326.

Rukhovets L. A., Filatov N. N., Terzhevik A. Yu., Astrakhansev G. P., Minina T. R., Mal'gin A. N., Petrova N. A., Poloskov V. N., Belkina N. A., Efremova T. V., Nazarova L. E., Salo Yu. A., Sabylina A. V., Timakova T. M. Onezhskoe ozero segodnya i zavtra: opyt matematicheskogo modelirovaniya [Lake Onego today and tomorrow: the experience of mathematical modeling]. *Vodnye resursy Evropejskogo Severa Rossii: itogi i perspektivy issled.* [Water resources of the European North of Russia: results and prospects of research]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2006. P. 127–153.

Ryzhakov A. V. Krugovorot azotsoderzhashchikh veshchestv v prirodnykh vodakh [Cycle of nitrogen-containing substances in natural waters]. *Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike* [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice]. Eds. P. A. Lozovik, N. A. Efermenko. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. P. 86–88.

Sharov A. N., Tolstikov A. V. Gidrologicheskii i biologicheskii rezhimy ozer Vostochnoi Antarktity [Hydrological and biological regimes of lakes in East Antarctica]. *Transformatsiya ekosistem* [Transformation of Ecosystems]. 2020. Vol. 3(3). P. 77–86. doi: 10.23859/estr-200318

Tekanova E. V., Kalinkina N. M., Kravchenko I. Yu. Geokhimicheskie osobennosti funktsionirovaniya bioty v vodoemakh Karelii [Geochemical features of biota functioning in water bodies of Karelia]. *Izv. RAN. Ser. geogr.* [Proceed. RAS. Geogr. Ser.]. 2018. No. 1. P. 90–100. doi: 10.7868/S2587556618010083

Terzhevik A. Yu., Golosov S. D., Gavrilenko G. G., Zdorovenov R. E., Zdorovenova G. E., Volkov S. Yu., Pal'shin N. I., Efremova T. V., Bogdanov S. R. Vozmozh-

noe vliyanie "neobychnoi" vesny na rezhim rastvorenogo kisloroda v melkovodnom ozere v letnii period [The possible effect of an unusual spring on the dissolved oxygen in a shallow lake during the summer]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 10. P. 17–27. doi: 10.17076/lim712

Tolstikov A. V., Chernov I. A. Izmenchivost' biogeokhimicheskikh protsessov v Belom more dlya raznykh klimaticheskikh uslovii po dannym modelirovaniya [Variability of biogeochemical processes in the White Sea under different climatic conditions: the modeling approach]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2019. No. 6. P. 92–102. doi: 10.17076/eb950

Tolstikov A. V., Chernov I. A., Murzina S. A., Martynova D. M., Yakovlev N. G. Razrabotka kompleksa Green JASMINE dlya izucheniya i prognozirovaniya sostoyaniya ekosistem Belogo morya [Design and application of the Green JASMINE complex for the study and prediction of the ecosystems state and variability of the White Sea]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2017. No. 5. P. 23–32. doi: 10.17076/eb501

Vodnye resursy i problema pit'evogo vodosnabzheniya. Opyt sotrudnichestva Karelii i Finlyandii [Water resources and the problem of drinking water supply. Experience of cooperation between Karelia and Finland]. Eds. N. Filatov, A. Litvinenko, A. Sarkioya, R. Portikivi, T. Regerand. Petrozavodsk; Kuopio, 2006. 263 p.

Vyruchalkina T. Yu., Filatov N. N., Dianskii N. A., Gusev A. N. O prognoze mnogoletnikh izmenenii urovnya vody krupnykh ozer [On forecasting long-term variations of water level in large lakes]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 9. P. 3–16. doi: 10.17076/lim480

Yakovlev N. G. Vosproizvedenie krupnomasshtabnogo sostoyaniya vod i morskogo l'da Severnogo Ledovitogo okeana v 1948–2002 gg. Chast' 1: Chislennaya model' i srednee sostoyanie [Reproduction of the large-scale state of the waters and sea ice of the Arctic Ocean in 1948–2002. Part 1: Numerical model and mean state]. *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana* [Proceed. RAS. Physics of the Atmosphere and Ocean]. 2009. Vol. 45, no. 3. P. 1–16.

Zdorovenova G. E., Gavrilenko G. G., Pal'shin N. I., Efremova T. V., Volkov S. Yu., Bogdanov S. R., Terzhevnik A. Yu., Golosov S. D., Zverev I. S., Zdorovenov R. E. Dinamika vod nebol'shogo ozera v period otkrytoi vody (po dannym izmerenii techenii i temperatury) [Dynamics of waters of a small lake during the period of open water (according to measurements of currents and temperature)]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions]. 2018. Vol. 4(14), iss. 3. P. 54–68.

Zobkov M. B. Metody obrabotki geoinformatsionnykh dannykh sostoyaniya vodnykh ob'ektov [Methods for processing geoinformation data of the state of water bodies]: PhD (Cand. of Tekh.) thesis. Petrozavodsk, 2012. 178 p.

Bogdanov S., Zdorovenova G., Volkov S., Zdorovenov R., Palshin N., Efremova T., Terzhevnik A., Bouffard D. Structure and dynamics of convective mixing in Lake Onego under ice-covered conditions. *Inland Wa-*

ters. 2019. Vol. 9, iss. 2: Life under Ice in Lake Onego (Russia) – An Interdisciplinary Winter Limnology Study. P. 177–192. doi: 10.1080/20442041.2018.1551655

Chernov I., Lazzari P., Tolstikov A., Kravchishina M., Yakovlev N. Hydrodynamical and biogeochemical spatiotemporal variability in the White Sea: A modeling study. *J. Mar. Syst.* 2018. Vol. 187. P. 23–35. doi: 10.1016/j.jmarsys.2018.06.006

Chernov I., Tolstikov A. The White Sea: available data and numerical models. *Geosci.* 2020. Vol. 10. Art. 463. doi: 10.3390/geosciences10110463

Golosov S., Terzhevnik A., Zverev I., Kirillin G., Engelhardt C. Climate change impact on thermal and oxygen regime of shallow lakes. *Tellus A.* 2012. Vol. 64. Art. 17264. doi: 10.3402/tellusa.v64i0.17264

Filatov N., Pozdnyakov D., Johannessen O., Pettersen L., Bobilev L. White Sea: its marine environment and ecosystem dynamics influenced by global change. London: Springer-Praxis, 2005. 472 p.

Filatov N., Baklagin V., Efremova T., Nazarova L., Palshin N. Climate change impacts on the watersheds of Lakes Onego and Ladoga from remote sensing and in-situ data. *Inland Waters*. 2019. Vol. 9(2). P. 130–141. doi: 10.1080/20442041.2018.1533355

Filatov N., Terzhevnik A., Zdorovenov R., Vlasenko V., Stashchuk N., Hutter K. Strongly nonlinear Internal waves in lakes: Generation, Transformation. *Field Studies of Non-Linear Internal Waves in Lakes on the Globe*. Ch. 2. Springer, 2012. P. 25–106.

Kalinkina N., Tekanova E., Korosov A., Zobkov M., Ryzhakov A. What is the extent of water brownification in Lake Onego, Russia? *J. Great Lakes Res.* 2020. Vol. 46. P. 850–861. doi: 10.1016/j.jglr.2020.02.008

Ladoga and Onego – Great European lakes. Observations and modeling. Eds. L. Rukhovets, N. Filatov. Springer, 2010. 302 p.

Lozovik P. A., Ryzhakov A. V. Transformation and cycle of labile substances and production-destruction processes in lake ecosystems. *J. Siberian Fed. Univ. Biol.* 2017. Vol. 10(4). P. 404–421.

Mironov D., Heise E., Ritter B., Kourzeneva E., Schneider N., Terzhevnik A. Implementation of the lake parameterisation scheme FLake into the numerical weather prediction model COSMO. *Boreal Env. Res.* 2010. Vol. 15. P. 218–230.

Savchuk O. P. Large-scale nutrient dynamics in the Baltic Sea, 1970–2016. *Front. Mar. Sci.* 2018. doi: 10.3389/fmars.2018.00095

Strakhovenko V., Subetto D., Ovdina E., Belkina N., Efremenko N. Distribution of elements in iron-manganese formations in bottom sediments of Lake Onego (NW Russia) and small lakes (Shotozero and Surgubskoe) of adjacent territories. *Minerals*. 2020. No. 10(5). Art. 440.

Wüest A., Pasche N., Ibelings B. W., Sharma S., Filatov N. Life under ice in Lake Onego (Russia) – an interdisciplinary winter limnology study. *Inland Waters*. Vol. 9, no. 2. 128 p. doi: 10.1080/20442041.2019.1634450

Received March 19, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Филатов Николай Николаевич

главный научный сотрудник, советник председателя КарНЦ РАН, чл.-корр. РАН, д. г. н., проф.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: nfilatov@rambler.ru

Белкина Наталья Александровна

ведущий научный сотрудник, руководитель группы исследований донных отложений, 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: bel110863@mail.ru

Бородулина Галина Сергеевна

старший научный сотрудник лаборатории 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

Зобков Михаил Борисович

руководитель лаб. гидрохимии и гидрогеологии, старший научный сотрудник, 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

Калинкина Наталия Михайловна

руководитель лаб. гидробиологии, д. б. 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: cerioda@mail.ru

Назарова Лариса Евгеньевна

директор, 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: nazarova@nwpi.krc.karelia.ru

Литвиненко Александр Васильевич

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

CONTRIBUTORS:

Filatov, Nikolai

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

Belkina, Natalya

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: bel110863@mail.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

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

Kalinkina, Natalia

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

Nazarova, Larisa

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

Litvinenko, Alexandr

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

Регеранд Татьяна Ивановна

ученый секретарь ИВПС, к. б. 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: regerand@nwpi.krc.karelia.ru

Рыжаков Александр Вадимович

старший научный сотрудник, 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: ryzhakov@nwpi.krc.karelia.ru

Теканова Елена Валентиновна

старший научный сотрудник, к. б. 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: etekanova@mail.ru

Толстик Алексей Владимирович

руководитель лаб. географии и гидрологии, 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: alexeytolstikov@mail.ru

Regerand, Tat'yana

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

Tekanova, Elena

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

Tolstikov, Aleksey

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