

УДК[001.891:378.4]+[502+574.5]:[001.891:378.4] doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-306-324

Результаты исследований в области прикладной и системной экологии в РГГМУ

*Д.К. Алексеев, В.А. Шелутко, Н.В. Зуева, Е.В. Колесникова,
Е.С. Урусова, Е.А. Примак*

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,
kafedra_pe@rshu.ru

Представлены взгляды авторов на становление и развитие прикладной экологии в РГГМУ. Приведен краткий обзор результатов исследований за последние 20 лет в области прикладной экологии. Отражены основные направления научной работы кафедры прикладной и системной экологии: учет особенностей экологической информации при обработке данных наблюдений, развитие теории и методов оценки загрязнения рек и водоемов, экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, управление качеством городской среды, математическое моделирование экосистем водных объектов, оценка экологического состояния морских экосистем. Освещаются вопросы международного сотрудничества кафедры с зарубежными и российскими организациями.

Ключевые слова: экологическое нормирование, водные экосистемы, городское планирование, экологический риск, устойчивое развитие, охрана окружающей среды.

Research results in the field of applied and systems ecology at RSHU

*D.K. Alexeev, V.A. Shelutko, N.V. Zueva, E.V. Kolesnikova,
E.S. Urusova, E.A. Primak*

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

The authors' point of view on formation and development of applied ecology at RSHU is given. The article contains a brief overview of research results over the past 20 years in the field of applied ecology. The main directions of research of the Department of Applied and Systems Ecology are presented: consideration of features of environmental information during the processing of observation data, development of theory and methods of assessment of pollution in rivers and reservoirs, ecological and hydrometeorological problems of large cities and industrial areas, quality management of the urban environment, mathematical modeling of water body ecosystems, monitoring and assessment of the ecological status of marine ecosystems. The issues of international cooperation of the Department with foreign and Russian organizations are highlighted.

One of the challenges that require making immediate decision in environment quality assessment is criterion selection for estimation the ecological condition, status or ambient quality standard. To solve this problem, it is proposed to use the method of integral assessment of the sustainability and health of marine and freshwater ecosystems, which can characterize the ecological status of the aquatic ecosystems as a whole. On the basis of synthesis of existing approaches to assessing the sustainability and ecosystem health, the choice of models and methods for their quantitative integral assessment is justified. An integral indi-

cator of the sustainability of marine and freshwater ecosystems, as well as a training model-classification have been developed to calculate integral indices, which allow to classify various aquatic areas according to the classes of sustainability and ecosystem health. In addition, recommendations have been proposed to improve standard methods of water quality assessment based on hydrochemical data and to reduce environmental risk for sustainable development of urban areas.

Keywords: environmental regulation, urban planning, environmental risk, sustainable development, environmental protection, risk assessment, ecological monitoring, ecosystem modelling.

For citation: *D.K. Alexeev, V.A. Shelutko, N.V. Zueva, E.V. Kolesnikova, E.S. Urusova, E.A. Primak. Research results in the field of applied and systems ecology at RSHU. *Gidrometeorologiya i Ekologiya. Hydrometeorology and Ecology* (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2020, 60: 306—324. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-306-324*

Введение

Развитие наук о Земле обуславливает появление устойчивого спроса на знания, рекомендации, практические разработки, которые обеспечивают не только достижение целей производства, но и минимизируют экономический и экологический ущерб, сохраняют приемлемые условия жизнедеятельности современного и будущих поколений людей [1]. В последние годы постоянно возрастает интерес к проблемам экологии и охраны окружающей среды. Это обусловлено, с одной стороны, практической значимостью решаемых задач, а с другой — наличием постоянно возрастающего объема экспериментальных данных, требующих глубокого теоретического осмысления на основе современных методов системного анализа.

Результаты исследований, направленные на решение практических проблем, можно называть прикладными. Речь сегодня идет о трансформации классического фундаментального университетского образования в прикладное. Понятие «инновация» (нововведение) пришло на смену понятиям «научно-технический прогресс», «научно-технический проект». Инновация — это первое применение совершенно нового продукта, технологии, услуги. Нет применения — нет инновации, нет потребителя — нет инновации. Тематические планы, проекты и предложения, заявляемые сегодня в грантах, должны предусматривать коммерческое освоение новых разработок. Таким образом, они становятся инновационными, а значит, современными. Акцент сегодняшнего дня — создание условий для инновационной деятельности, создание инновационной системы, инновационных центров, фондов, парков и т. п. [2, 3].

На современном этапе развития наук о Земле прикладная экология призвана разрабатывать научные методы решения экологических проблем, связанных с антропогенной трансформацией природных экосистем и геосистем, разных иерархических уровней, а также урба(эко)систем и социоэкосистем.

Создание в 2000 г. в Российском государственном гидрометеорологическом университете на факультете экологии и физики природной среды кафедры прикладной экологии замечательным образом предвосхитило ситуацию сегодняшнего дня. Для работы на кафедре были привлечены известные ученые и преподаватели: профессор В.А. Шелутко (первый заведующий кафедрой),

профессор В.В. Гальцова, доцент В.Г. Гутниченко, доцент В.А. Васильев и в качестве совместителей академик Я.И. Старобогатов, профессор В.В. Дмитриев, доцент Ю.И. Скорик. Позднее в состав кафедры вошли профессор Г.Т. Фруммин, доценты А.Б. Степанова, Е.С. Андреева, В.Ю. Третьяков, старший преподаватель Л.Е. Дмитричева.

Общей тематикой научных исследований кафедры в этот период стало исследование изменчивости биотических и абиотических компонентов водных и наземных экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов. Выбор тематики обусловлен увеличением численности населения Земли и интенсивным хозяйственным освоением территорий при возрастании антропогенной нагрузки и вследствие этого ухудшением качества жизни, особенно в урбэко системах.

На первых шагах своего существования кафедра прикладной экологии для более четкого определения конкретных тем исследования организовала и провела в 1999 г. Всероссийскую научную конференцию «Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». В докладах конференции и в сборнике трудов [4] подчеркивалось, что большие города и промышленные зоны отличаются высокой степенью освоения территории, высокой компактностью проживания жителей, развитым промышленным производством и коммунальным хозяйством.

Кардинальное решение экологических и гидрометеорологических проблем больших городов и промышленных зон лежит в области технологий. Однако технологические мероприятия, направленные на улучшение экологических и гидрометеорологических условий, крайне дороги и ни сейчас, ни в ближайшем будущем — даже в более богатых странах, чем Россия, — не смогут обеспечить решение экологических проблем в полном объеме [5]. Как правило, эти мероприятия используются лишь для решения частных задач. Известны случаи, когда технологические мероприятия, направленные на решение той или иной экологической проблемы, оказались недостаточно эффективными. Одной из главных причин низкой эффективности многих технологических мероприятий по предотвращению ухудшения или по улучшению качества окружающей среды в городах и промышленных зонах является недостаточное геоэкологическое обоснование многих проектов и недостаточная проработка причинно-следственных связей, лежащих в основе экологических проблем.

Качество геоэкологического обоснования и выбор приоритетного направления технологических мероприятий по улучшению экологической обстановки во многом определяются качеством подготовки специалистов, решающих эти вопросы, сложностью и неординарностью рассматриваемых вопросов, изученностью факторов формирования городской среды, наличием достоверных данных об экологическом состоянии и качестве окружающей городской среды и прогнозом ее возможных изменений под влиянием тех или иных хозяйственных мероприятий.

В период с 2000 по 2012 г. кафедра прикладной экологии провела серию Международных научных конференций «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». В 2002 г. вышел в свет

сборник трудов «Вопросы прикладной экологии», в котором был опубликован ряд работ [2, 4], заложивших основы научной работы кафедры на ближайшее десятилетие.

Логическим продолжением в 2017 г. стала I Всероссийская молодежная научно-практическая конференция с международным участием «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: новые горизонты». В 2019 г. была успешно проведена Школа молодых ученых «Экогидромет — новые горизонты 2019» в рамках Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации». В этот период активно развивается международное сотрудничество с Университетом Южной Богемии (г. Чешские Будевицы, Чехия), Университетом Николая Коперника (г. Торунь, Польша), Ереванским государственным университетом (факультет географии и геологии, кафедра физической географии).

В начале нового века был выполнен ряд крупных международных проектов. В 2004—2005 гг. в рамках российско-финского сотрудничества проводилась подготовка экологического обоснования дноуглубительных работ и санитарной очистки Охтинского водохранилища. Эта работа выполнялась совместно с Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. В 2006—2008 гг. сотрудниками кафедры реализовывался проект «Научно-методическое обеспечение научного и образовательного сотрудничества с Национальным автономным университетом Мексики по теме «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон и управление качеством городской среды». Итогом работ в сотрудничестве с университетами Мексики стала публикация трех томов монографии «Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон (Россия — Мексика)», изданных в РГГМУ в 2009—2011 гг. на русском и английском языках [6—8].

В период с 2016 по 2018 г. на кафедре реализовывался проект «Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных экосистем» в рамках гранта Российского фонда фундаментальных исследований под руководством Н.В. Зуевой. Результатом работы кафедры по заявленной тематике стала реализация в 2019 г. новой магистерской программы «Управление экосистемами». С 2018 г. по настоящее время сотрудники кафедры принимают участие в международном проекте «Устойчивое природопользование в арктических и высокогорных областях» (SUNRAISE).

За время работы кафедры сотрудники защитили две докторские диссертации (В.В. Дмитриев «Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоемов» и Е.С. Андреева «Концепция вероятностно-географического прогнозирования опасных явлений погоды юга России») и пять кандидатских диссертаций (Д.К. Алексеев «Оценка экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России», Н.В. Зуева «Оценка экологического состояния малых рек Северо-Запада России на основе структурных характеристик сообществ макрофитов (на примере Ленинградской области)», Е.В. Колесникова «Развитие теории и методов оценки загрязнения речных вод», Е.А. Примак «Интегральная оценка

устойчивости и экологического благополучия водных объектов», Е.С. Урусова «Оценка стока биогенных веществ с учетом особенностей гидрохимической информации: на примере реки Великой»). Всего с момента создания кафедры под руководством сотрудников защищено 17 кандидатских диссертаций. Результаты исследований стали основой для методических рекомендаций при разработке образовательных программ в области устойчивого развития [9]. Рассмотрим основные направления научной работы кафедры более подробно.

Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон, управление качеством городской среды

Появление и развитие больших городов и промышленных зон затрагивает все компоненты природной среды: атмосферу, гидросферу, растительный и животный мир, почву, рельеф и др. В них заметно изменяются многие характеристики естественной окружающей среды, присущей данному региону; вносятся в окружающую среду новые элементы, которые не наблюдались ранее в естественных условиях. В результате создается новая, во многом искусственная среда, состояние которой чаще всего характеризуется необратимой утратой способности продуцировать органическое вещество или потерей таких свойств, которые отличают экосистемы от других комбинаций «жизнь — среда».

Преобразованная или вновь созданная природная среда и урбэкоисистемы поддерживаются исключительно человеком. Поэтому они очень уязвимы в отношении как антропогенных, так и биотических и абиотических факторов окружающей среды. Это особенно важно учитывать, поскольку, наряду с положительными для человека изменениями природной среды, происходящими на территории городов и промышленных зон, все больше проявляются и отрицательные изменения, вызванные как объективными, так и субъективными факторами. При этом, несмотря на стремление к созданию в городе наиболее комфортных условий жизни и работы населения, изначально под влиянием все более увеличивающейся антропогенной нагрузки происходят изменения природной среды, направленные против человека. Возникает целый спектр геоэкологических проблем, связанных с обеспечением безопасности и защищенности от вредных воздействий техногенных и природных экологических факторов.

С 1997 г. функционирует созданный на реке Охте и Охтинском водохранилище экологический полигон. На сети точек экологического мониторинга проводятся различные полевые работы: гидроэкологическое обследование водотоков, наблюдение за гидрологическими характеристиками рек, отбор проб воды и донных отложений для последующего химического и токсикологического анализа, гидробиологические работы, включающие исследования макрозообентоса и макрофитов. Полученные данные за более чем 20-летний период проведения наблюдений являются основой многих научных разработок и направлений, речь о которых пойдет далее.

Актуальной задачей в области управления качеством городской среды можно назвать проблему управления отходами. К одному из факторов увеличения массы

отходов производства и потребления в современном обществе относится экологическая халатность населения. Вместе с этим вследствие экологической неграмотности людей окружающая среда подвержена негативному воздействию отходов.

Согласно данным Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, на всей территории Российской Федерации ежегодно образуется более 7 млрд тонн отходов производства и потребления I—V класса опасности. В том числе образуется порядка 50—55 млн тонн твердых коммунальных отходов (ТКО). Ежегодно каждый городской житель производит до 400 кг в год ТКО, образующих городской мусор. Практически весь указанный объем размещается на полигонах ТКО, санкционированных и несанкционированных свалках; доля тех отходов, которые попадают на мусороперерабатывающие заводы, составляет лишь 4—5 %.

В результате размещения отходов на полигонах ТКО происходит загрязнение грунтовых вод, образование биогаза и просадка грунта. Все это может привести к чрезвычайным ситуациям биолого-социального характера, вследствие которых нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза жизни и здоровью людей, возрастает опасность широкого распространения инфекционных болезней и т. д.

Решением проблемы, связанной с ежегодным ростом объемов захораниваемых отходов, может стать минимизация подобного рода объемов ТКО за счет отбора «деловых» фракций, пригодных к использованию в качестве вторичных ресурсов. Это позволит сократить на 10—20 % (по массе) количество захораниваемых отходов с минимальными бюджетными затратами.

Необходимым условием внедрения селективного (раздельного) сбора отходов является информирование населения, которое может происходить только при помощи массовой информации. Использование моделей массовой коммуникации имеет свои функциональные аспекты, подразумевающие под собой психологическое воздействие на общество.

Результативность информирования населения можно представить в виде временных этапов, которые в настоящее время можно только прогнозировать. Для того чтобы иметь представление об эффективности информирования в области обращения с ТКО на данном этапе, в 2017 г. был проведен социологический опрос в социальной сети «ВКонтакте» среди жителей Российской Федерации таких городов, как Калининград, Санкт-Петербург, Москва, Волгоград, Ростов-на-Дону, Тула, Краснодар, Вологда, Екатеринбург и др. Был задан всего один вопрос: «Разделяете ли Вы мусор у себя дома?» и предложены следующие варианты ответов: «Да», «Нет», «Собираюсь это делать», «Ничего не знаю о раздельном сборе». Анализ опроса показал, что из 365 респондентов всего 10 % обращаются с отходами грамотно, 75 % — не разделяют отходы, 8 % — собираются селективно собирать отходы, а 7 % ничего не знают о раздельном сборе [10].

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что в настоящее время представление о наличии выбора — собирать отходы «раздельно или нет» — у большей части населения все-таки имеется, но этих знаний недостаточно. Следовательно, на данном этапе основной целью является программирование

подсознания общества посредством информирования, задачей которой является выработка убеждения, внушения и привычки. Для подготовки населения к грамотному обращению с отходами целесообразно создание научно-популярных фильмов, социальных видеороликов, организация фестивалей, подготовка различного рода рекламы, издание и распространение листовок, буклетов и других информационных материалов, рассказывающих об экологических и экономических аспектах обращения с отходами, формирующих у населения интерес к проблемам охраны окружающей среды от негативного воздействия отходов. Осознание жителями своей возможности влиять на состояние окружающей среды, участвовать в реальном ресурсосбережении позволит сделать раздельный сбор бытовых отходов наиболее полным и эффективным. Также эффективным будет введение закона о всеобщем экологическом воспитании и просвещении [11].

Учет особенностей геоэкологической информации при обработке данных наблюдений

Современные методы оценки качества поверхностных вод по данным гидрологических и гидрохимических наблюдений основываются на следующих теоретических положениях: временные последовательности измеренных значений концентрации загрязняющих веществ воды в каждом пункте наблюдений описываются математической моделью в виде ряда значений случайной величины; подобные ряды данных наблюдений являются стационарными, регулярными и однородными. Последнее означает, что все части каждого ряда принадлежат одной генеральной совокупности.

Вместе с тем в последние годы выявлено, что на основе принятых положений, указанных выше, могут быть получены противоречивые результаты, не имеющие какого-либо физического объяснения. С учетом этих обстоятельств возникла необходимость в проверке соответствия принятых теоретических положений относительно временных рядов гидрохимических наблюдений. В результате к настоящему времени установлен ряд особенностей рядов первичных данных гидрохимических наблюдений, которые не укладываются в рамки изложенных выше положений.

Измеренные значения концентрации в значительной степени зависят от расходов воды в период отбора проб, и, следовательно, концентрации являются неоднородными по условиям своего формирования. Поэтому принятый метод расчета средних годовых концентраций и годовых объемов стока загрязняющих веществ путем осреднения измеренных за год значений приводит к большим погрешностям [12]. В работе В.А. Шелутко и Е.В. Колесниковой [13] приводится теоретическое доказательство того, что определение средних годовых концентраций загрязняющих веществ в реках путем осреднения концентраций возможно только при равенстве расходов воды при всех измерениях концентраций.

Число измерений концентраций загрязняющих веществ в год практически в каждом пункте наблюдений изменялось в течение всего периода наблюдений от 2—3 до 12 и больше. Следовательно, исходные ряды данных наблюдений за

концентрациями загрязняющих веществ являются неоднородными по числу наблюдений в год [14, 15].

Интервалы между измерениями концентраций в течение года могут изменяться от 12 дней до двух-трех месяцев. Одно измерение может освещать среднюю концентрацию загрязняющих веществ в реке за 12 дней, а другое — за три месяца и т. д. Таким образом, исходные ряды данных наблюдений являются неэквидистантными (нерегулярными). Это означает, что расчет каких-либо осредненных величин путем простого осреднения невозможен. Неучет этого обстоятельства приводит к большим погрешностям.

В ряды наблюдений при расчетах среднегодовых концентраций и объемов стока загрязняющих веществ часто включают «выбросы», то есть значения, связанные с аварийными сбросами загрязняющих веществ различными предприятиями. Это приводит к значительному увеличению рассчитываемых концентраций и объемов стока загрязняющих веществ. Выбросы должны исключаться из рядов наблюдений и рассчитываться отдельно по специально разработанной методике. К настоящему времени авторами (2008, 2009) была разработана специальная методика для оценки среднегодовой концентрации загрязняющих веществ, которая учитывает особенности геоэкологических данных; активно проводится апробация на различных водных объектах [23—25].

Развитие теории и методов оценки загрязнения рек и водоемов

Одним из направлений в развитии подходов к оценке экологического состояния водных объектов может служить применение метода биоиндикации [19]. Для этого наряду с общепринятыми методами исследуются возможности использования характеристик растительного покрова [20]. Исследования речной растительности проводились на нескольких десятках рек Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга. Обследованы верховья реки Оредеж и ее притоки — реки Старый Оредеж и Орлинка. Выявлены изменения в растительном покрове рек, связанные с проведенной здесь мелиорацией. Также уделено значительное внимание водотокам, находящимся на Карельском перешейке: рекам Авлоге, Черной, Селезневке, Гладышевке и др. С 2004 г. ежегодно проводятся исследования реки Охты с притоками Лубья и Оккервиль в черте города Санкт-Петербурга и в Ленинградской области.

В рамках проведенных исследований установлено, что оценку экологического состояния малых рек необходимо выполнять на основе параметров, связанных с развитием макрофитов — часто основных первичных продуцентов водотоков. Подобного рода оценка невозможна без понимания нормы состояния растительного покрова реки. В настоящее время проводятся исследования, направленные на выявление такого «нормального» состояния и отклонений от него при разнотипном хозяйственном воздействии. С учетом связи между ландшафтом малых водотоков, которые в первую очередь подвергаются трансформации, и их флорой и растительностью именно водные объекты выступают модельными в наших исследованиях [21, 22].

На основе имеющихся данных разработан оригинальный индекс, основанный на характеристиках растительного покрова для малых рек, позволяющий получить интегральную экологическую оценку, а также были апробированы зарубежные макрофитные индексы оценки трофического статуса малых водотоков.

Следует отметить, что полученные оценки состояния водотоков и водоемов по гидрологическим и гидробиологическим показателям представляют собой результат так называемого покомпонентного анализа водных экосистем, который уже не может служить общеметодологической основой исследования сложных природных систем. Это обуславливает переход к методам многокритериального и интегрального оценивания [23]. Логическим продолжением серии работ по использованию макрофитов в экологических исследованиях служит разработка моделей классификации для интегральной оценки состояния экосистем малых и средних рек европейской части России. Подобного рода шкалы предусматривают комплексное использование различных параметров: гидробиологических (биоиндикационных и биотестовых), химических показателей вод, гидрофизических характеристик и др. [24—26].

Одним из важнейших в исследовании природных систем является вопрос об устойчивости природных и антропогенных экосистем. На современном этапе исследований определение устойчивости весьма неоднозначно, что обуславливает великое множество подходов к описанию данного понятия и исследованию этого свойства экосистемы.

Устойчивость водных объектов к изменению параметров естественного режима определяется морфометрическими особенностями водного объекта, физико-географическими и климатическими условиями, гидрологическим режимом. Анализ изменения параметров антропогенного режима способствует выявлению устойчивости к антропогенному эвтрофированию или устойчивости к изменению качества воды.

Оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов может выполняться на основе метода сводных показателей, который дает возможность, используя существующие классификации и типизации, разработать модели интегральной оценки устойчивости, чувствительности и экологического благополучия для достаточно большого и разнообразного перечня критериев [27].

В целом, как показали эксперименты, наиболее высокой устойчивостью к изменению параметров естественного и антропогенного режимов обладают крупные и (или) высокопродуктивные водные объекты, находящиеся в оптимальных условиях формирования водности, а также крупные и (или) сильно загрязненные водные объекты, находящиеся в оптимальных условиях формирования качества воды. Наибольшую роль в устойчивости водотоков играют характер действия водотока, площадь водосбора и степень устойчивости русла.

Необходимо отметить, что при прочих неизменных условиях более продуктивная экосистема будет более устойчива к эвтрофированию, а более сапробная (токсобная) экосистема с низким качеством воды — более устойчива к снижению качества воды. Поэтому устойчивая экосистема не должна ассоциироваться

с экологически благополучной, необходим анализ факторов, определяющих причину ее высокой устойчивости.

К последним разработкам можно отнести анализ эмерджентных свойств водных экосистем (продуктивность, устойчивость, экологическое благополучие и др.) на основе результатов имитационного моделирования и моделей интегрального оценивания [28]. На основе экспериментов с пространственно однородной моделью показана возможность выявления реакции отдельных компонентов и системы в целом на изменение температурного фона. Сделан вывод о том, что результаты моделирования можно использовать в оценке эмерджентных свойств водных экосистем (устойчивость к изменению параметров естественного и антропогенного режимов) [29].

Оценка экологического риска для различных сфер деятельности в регионах России

Суть концепции экологического риска сводится к оценке опасности от совокупности всех значимых факторов. Для расчета экологического риска необходимы сбор и анализ максимально полного объема информации об исследуемом объекте (идентификация опасности), выявление внутренних и внешних связей системы, их возможного влияния на предмет исследования (оценка экспозиции), поиск математических методов для описания взаимосвязей внутри системы и ее взаимодействия с другими системами (построение зависимости «доза — ответ») и формирование максимально полных и всеобъемлющих выводов об опасности исследуемого объекта (характеристика риска). В основе управления риском лежат принципы оптимизации соотношений выгоды и ущерба. Стратегическая цель управления риском — стремление к повышению уровня благосостояния общества при обязательном условии: никакая практическая деятельность не может быть оправдана, если выгода от нее не превышает причиняемого ею ущерба. Современный мир отверг концепцию абсолютной безопасности и пришел к концепции приемлемого (допустимого) риска, суть которой в стремлении к такой безопасности, которую готово принять общество в данный период времени.

Особое внимание в области прикладной экологии уделяется факторам риска возникновения техногенных катастроф. Хорошо известно, что техногенный риск, как правило, является причиной возникновения экологического риска. Проведенные в РГГМУ исследования показывают, что на уровень техногенного риска влияет целый ряд факторов, и в частности гидрометеорологические, геополитические и социальные [30]. Важнейшей областью исследования являются опасные объекты, аварии на которых неминуемо приводят к огромным, часто невосполнимым потерям [31]. Особенно страдают водные объекты: время реагирования ремонтной бригады увеличивается из-за труднодоступности (заболоченные земли), нефть быстро распространяется и не подлежит полному сбору (ручьи и реки), затраты на ликвидацию разливов чрезвычайно высокие (заливы, проливы, моря). Риск на данных участках высок и часто неприемлем, разработаны рекомендации по его минимизации и контролю с учетом местных географических условий.

Оценка риска здоровью получила широкое распространение в системе оценки экологических рисков в российской и зарубежной практике. Кроме того, риск здоровью сам по себе служит непосредственным интегральным показателем качества окружающей среды, количества и уровня опасности загрязняющих веществ, их токсичности, их комбинированного воздействия на здоровье различных групп населения. Многие работы кафедры связаны с поиском интегральных показателей антропогенного воздействия на водные объекты и с оценкой опасности для местных жителей. Совместно с коллегами из Национального автономного университета Мексики (Universidad Nacional Autónoma de México) и Мексиканского колледжа (El Colegio de México, A.C.) был проведен ряд исследований по разработке методов математической свертки больших массивов данных для простого и наглядного их представления, оценки и нормирования. Эти работы вошли в проект по поиску индикаторов оценки риска здоровью населения, потребляющего воду из загрязненных водоемов Мексики [7].

Для Российской территории оценка риска здоровью проводилась для различных локальных участков, небольших населенных пунктов, строительных площадок, промышленных предприятий. Для них разработаны рекомендации по снижению и регулированию риска. Однако особое внимание уделяется оценке риска для населения больших городов, где численность экспонируемой популяции исчисляется сотнями тысяч и даже миллионами человек. Проведенные работы по анализу и оценке риска здоровью населения городов Уфы, Челябинска, Санкт-Петербурга позволили не только оценить опасность для различных групп населения, но и сделать прогнозы развития ситуации на многолетнюю перспективу [32].

Оценка экологического состояния морских экосистем

Многие годы одним из направлений научных исследований кафедры прикладной и системной экологии остается оценка экологического состояния морских экосистем. Современные антропогенные воздействия на водные экосистемы весьма сложны, а реакция экосистем существенно зависит не только от состава факторов, но и от их взаимодействия. Традиционные методы химического и физико-химического анализа не позволяют интегрально оценить экологическую обстановку в различных акваториях Мирового океана. В решении данной проблемы ключевую роль может сыграть применение биологических методов (биоиндикации и биотестирования) [19], а также методов свертки информации о составе, аддитивных и неаддитивных (устойчивость, благополучие и др.) свойствах водных экосистем [28].

В современной гидробиологии бентосные сообщества принято разделять на три размерных блока: макро-, мейо- и микробентос. При исследовании донных экосистем, подвергающихся сильной антропогенной нагрузке, обычно изучают реакцию макробентоса на ее воздействие, поскольку представители макробентоса обильны в донных биоценозах и сравнительно легко поддаются определению. Мейобентос (организмы размером от 0,1 до 2 мм) и микробентос (меньше 0,1 мм) используются реже. В проведенных комплексных исследованиях по оценке экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России с использованием методов биондикации [33], биотестирования [34] и метода сводных

показателей [35] индикатором экологического состояния выступали мейобентосные организмы.

Одно из направлений исследований заключалось в оценке возможного локального воздействия источников радиоактивного загрязнения на сообщества макро- и мейобентосных организмов [36]. Наиболее высокие концентрации радиоцезия обнаружены в отложениях юго-восточной части Баренцева моря. Осадки центральной и северо-восточной частей моря содержат цезий в меньших количествах. Близость к южной части полигона на Новой Земле повлияла на содержание цезия в донных отложениях Печорского моря. Локальные аномалии в отложениях встречаются только в некоторых заливах и в устьях сибирских рек.

Основными факторами, влияющими на накопления радиоцезия, являются средний диаметр частиц осадка (медиана), содержание галлия в пелитовой фракции осадков и содержание полевого шпата в отложениях [37]. В ходе проведенных исследований удалось установить, что мейобентос быстрее реагирует на радиоактивное загрязнение путем изменения своего таксономического разнообразия и количественных характеристик, а макробентос — более инертный компонент, менее подверженный воздействию этого фактора [38, 39].

Анализ структуры и организации сообществ макро- и мейобентосных организмов в естественных условиях и в условиях антропогенной нагрузки показал, что экологическое состояние биоты шельфовой зоны арктических морей России (исключая некоторые прибрежные районы) можно считать близким к средней многолетней норме. Значительные антропогенные нарушения структуры бентоса (по сравнению с биологической нормой для рассмотренных абиотических условий) отмечены лишь вблизи портовых акваторий. Полученные результаты подтверждаются другими нашими исследованиями, проведенными в Кольском заливе и сопредельных водах Баренцева моря.

В указанных акваториях проводились исследования по определению интегральной токсичности поровых вод с помощью метода биотестирования. Суть этого метода заключается в сравнении поведенческих реакций тест-организмов — инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1838 — с контрольными [34]. Пространственное распределение индекса интегральной токсичности характеризуется уменьшением по мере продвижения от южного колена Кольского залива к открытой части Баренцева моря; при этом степень загрязнения изменяется от допустимой до очень высокой.

Логическим продолжением серии работ по оценке воздействия на природные экосистемы явилось обобщение существующих подходов к оценке устойчивости и экологического благополучия водных объектов на основе метода сводных (интегральных) показателей. Построение такого рода показателей предполагает свертывание информации и представляет собой целенаправленный процесс, базирующийся на четко сформулированных принципах выбора или конструирования наиболее информативных переменных — индексов состояния (воздействия) [40]. В частности, выполнена многокритериальная оценка экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России [35], а также оценка экологического благополучия и устойчивости экосистем Финского залива [41, 42].

Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству РГГМУ за поддержку при проведении исследований, а также ученым и преподавателям, активно участвовавшим в создании кафедры и ее работе: профессору Ю.И. Ляхину, доценту В.Г. Гутниченко, профессору В.В. Дмитриеву, профессору Гальцовой В.В., профессору Е.С. Андреевой, профессору Б.Г. Скакальскому, профессору Г.Т. Фрумину, профессору А.Н. Гребенюку, доценту В.А. Васильеву, доценту Ю.И. Скорику, доценту В.Ю. Третьякову, заведующей лабораторией А.В. Смирновой.

Acknowledgments

The authors are grateful to administrative and support staff of the University for their assistance in conducting research, as well as to scientists and teachers who actively participated in the creation of the Department of Applied and Systemic Ecology and its work: Prof. Yu. Lyakhin, Ass. Prof. V. Gutnichenko, Prof. V. Dmitriev, Prof. V. Galtsova, Prof. E. Andreeva, Prof. B. Skakalsky, Prof. G. Frumin, Prof. A. Grebenyuk, Ass. Prof. V. Vasiliev, Ass. Prof. Yu. Skorik, Ass. Prof. V. Tretyakov, head of the laboratory A. Smirnova.

Список литературы

1. Дмитриев В.В., Шелутко В.А. Методологические аспекты в развитии прикладной экологии в системе наук о Земле // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 39. С. 189—200.
2. Дмитриев В.В. Прикладная экология в системе высшего географического и гидрометеорологического образования / Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. СПб: изд-во РГГМУ. 2002. С. 90—96.
3. Шелутко В.А., Дмитриев В.В. Прикладная экология и геоэкология в системе высшего географического и гидрометеорологического образования // Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 2. С. 32—37.
4. Шелутко В.А., Дмитриев В.В., Гальцова В.В., Фрумин Г.Т., Гутниченко В.Г. Геоэкологические проблемы больших городов и промышленных зон / Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. СПб: изд-во РГГМУ. 2002. С. 6—15.
5. Алексеев Д.К., Зуева Н.В., Розенкова И.В., Урусова Е.С., Шелутко В.А. Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: новые горизонты // Метеорологический вестник. 2017. Т. 9, № 2. С. 1—8.
6. Шелутко В.А., Дмитриев В.В., Гальцова В.В., Гутниченко В.Г., Лесама де ла Торе Х.Л., Гаврилов А.С., Баранова М.Е., Ернандес Серда М.Е., Гарса Меродио Г.Г., Бойо Манент М., Ернандес Сантана Х.Р., Марсан Бартоломе Р., Монтеро Гама М., Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И., Мерас Л., Домингес А., Айала К. Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон (Россия — Мексика). Т. 1. Анализ окружающей среды. СПб: изд-во РГГМУ. 2009. 180 с.
7. Перевощикова М.В., Эсколеро О., Колесникова Е.В., Шелутко В.А., Урусова Е.С., Дмитриев В.В., Хованов Н.В., Озурцов А.Н., Васильев В.Ю., Проценко Ю.А., Примак Е.А., Гальцова В.В., Третьяков В.Ю., Фрумин Г.Т. Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон (Россия — Мексика). Т. 2. Мониторинг окружающей среды. СПб: изд-во РГГМУ. 2010. 182 с.
8. Зекцер И.С., Новоселова Л.П., Гребенюк А.Н., Мерабшвили В.М., Мусийчук Ю.И., Попов Г.А., Струков Д.Р., Бойо Манент М., Родригес Х.М., Валдивия И., Валдивия И., Бауме О., Асдентеуфель П., Угальде В., Перевощикова М., Мартинес С., Сийер Контрерас Д., Моран Ескамийа Х., Дельядо Кампос Х., Анхелес Серрано Г., Лезама Де Ла Торре Х.Л., Венцюлис Л.С., Скорик Ю.И. Экология и гидрометеорология больших городов и промышленных зон (Россия — Мексика).

- Т. 3. Пути решения проблем окружающей среды в больших городах и промышленных зонах. Управление окружающей средой. СПб: изд-во РГГМУ. 2010. 230 с.
9. *Ershova A., Alexeev D., Shilin M., Bagrova T.* Design of Study Programs on Sustainable Development. In: Leal Filho W. (eds.) *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education*. Springer, Cham. 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63951-2_208-1
 10. *Нусифорова О.С., Примак Е.А.* Информирование населения, как основа развития системы обращения с твердыми коммунальными отходами // *Метеорологический вестник*. 2017. Т. 9, № 2. С. 137—141.
 11. *Нусифорова О.С., Примак Е.А.* Информирование населения в области селективного сбора отходов // *Экология России: на пути к инновациям*. 2017. Вып. 16. С. 90—94.
 12. *Шелутко В.А.* Оценка экстремальных уровней химического загрязнения речной сети урбанизированных территорий. Гэкологические проблемы больших городов и промышленных зон / *Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов*. СПб: РГГМУ. 2002. С. 15—22.
 13. *Шелутко В.А., Колесникова Е.В.* Анализ влияния учета водности рек на точность расчета средних годовых концентраций загрязняющих веществ // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета*. Сер. 7. Геология. География. 2008. № 3. С. 81—88.
 14. *Шелутко В.А., Смыжова Е.С.* Динамика стока биогенных веществ по реке Великая в Псковско-Чудское озеро // *Ученые записки РГГМУ*. 2010. № 13. С. 89—104.
 15. *Урусова Е.С.* Применение методики комплексного учета особенностей гидрохимической информации при оценке стока биогенных веществ // *Общество. Среда. Развитие*. 2017. № 1 (42). С. 88—92.
 16. *Шелутко В.А., Мулява А.В.* Влияние учета особенностей гидрохимической информации на результаты расчета стока биогенных веществ по р. Луга // *Ученые записки РГГМУ*. 2015. № 40. С. 203—213.
 17. *Shelutko V., Govor A., Alexeev D.* Analysis of the total phosphorus runoff in the Neva River. IV Vinogradov Conference “Hydrology: from Learning to Worldview” in Memory of Outstanding Russian Hydrologist Yury Vinogradov // *E3S Web of Conferences*. 2020. V. 163. 03013. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303013>
 18. *Shelutko V., Makarova M.* Issues of accounting for outliers in assessing of the nutrients runoff. IV Vinogradov Conference “Hydrology: from Learning to Worldview” in Memory of Outstanding Russian Hydrologist Yury Vinogradov. *E3S Web of Conferences*, V. 163, 2020. 03014. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303014>
 19. *Зуева Н.В., Алексеев Д.К., Куличенко А.Ю., Примак Е.А., Зуев Ю.А., Воякина Е.Ю., Степанова А.Б.* Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах. СПб: изд-во РГГМУ. 2019. 140 с.
 20. *Зуева Н.В., Гальцова В.В., Дмитриев В.В., Степанова А.Б.* Использование структурных характеристик сообществ макрофитов как индикатора экологического состояния малых рек северо-запада Ленинградской области // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета*. Сер. 7. Геология. География. 2007. Вып. 4. С. 60—71.
 21. *Зуева Н.В., Мостовая М.А., Лешукова А.И.* Характеристики макрофитов в оценке качества воды малых рек Санкт-Петербурга // *Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем*. СПб: Любавич, 2011. С. 137—142.
 22. *Зуева Н.В., Бобров А.А.* Использование макрофитов в оценке экологического состояния малой реки (на примере р. Охта, г. Санкт-Петербург) // *Биология внутренних вод*. 2018. № 1. С. 45—54. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0320965218010060>
 23. *Примак Е.А., Дмитриев В.В.* Разработка интегрального индекса для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов // *Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества*. СПб: изд-во СПбГУ, 2008. С. 234—241.
 24. *Дмитриев В.В., Зуева Н.В., Лубенцова А.С., Валатин Д.И., Васякина А.В., Непомнящая А.В., Никонов И.А., Осташов А.А., Подшивалова Д.О., Прокопья А.Д., Соколова Д.П., Черненко Ю.И.* Экологическое состояние водных объектов карельского Приладожья: традиционный взгляд и современные акценты // *Ученые записки РГГМУ*. 2017. № 47. С. 126—144.
 25. *Козлова А.В., Зуева Н.В.* Оценка экологического состояния ряда водоемов Северо-Запада России с использованием токсикологических характеристик // *Метеорологический вестник*. 2017. Т. 9, № 2. С. 100—105.

26. Зуева Н.В., Козлова А.В., Куличенко А.Ю. Опыт использования токсикологических характеристик в интегральной оценке экологического состояния водного объекта // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 3. С. 43—56. DOI: <https://doi.org/10.17076/lim706>
27. Примак Е.А., Зуева Н.В., Алексеев Д.К., Воякина Е.Ю. Нормирование и снижение негативного воздействия на водные экосистемы. СПб: изд-во РГГМУ, 2020.
28. Алексеев Д.К., Гальцова В.В., Дмитриев В.В. Экологический мониторинг: современное состояние, подходы и методы. Часть I. СПб: изд-во РГГМУ, 2011. 302 с.
29. Алексеев Д.К., Дмитриев В.В., Амаро Медина Д.Р. Влияние температуры воды на массообмен между компонентами водной экосистемы // Вестник Псковского государственного университета. Сер. Естественные и физико-математические науки. 2017. № 11. С. 3—12.
30. Колесникова Е.В. Интегральная оценка качества окружающей среды Неманского района Калининградской области // Современный ученый. 2017. № 7. С. 26—28.
31. Kolesnikova E. Environmental issues in sustainable use of water from minor and medium rivers in the Yenisei River Basin District. IV Vinogradov Conference “Hydrology: from Learning to Worldview” in Memory of Out-standing Russian Hydrologist Yury Vinogradov // E3S Web of Conferences. 2020. V. 163. 03007. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303007>
32. Низамудинов Т.И., Колесникова Е.В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г. Уфа бенз(а)пиреном за 2012—2016 гг. // Метеорологический вестник. 2018. Т. 10, № 2. С. 17—27.
33. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России в условиях антропогенной нагрузки // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. СПб: изд-во РГГМУ, 2004. С. 43—48.
34. Гальцова В.В., Кулангиева Л.В., Алексеев Д.К. Оценка экологического состояния донных осадков Кольского залива Баренцева моря // Вопросы прикладной экологии. Сборник научных трудов. СПб.: РГГМУ. 2002. С. 65-70
35. Гальцова В.В., Алексеев Д.К., Дмитриев В.В. Многокритериальная оценка экологического состояния шельфовой зоны арктических морей России // Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества. Сборник научных трудов. СПб, 2008. С. 242—251.
36. Alexeev D.K., Galtsova V.V. Benthic communities of Russian Arctic seas under radioactive pollution condition. International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity. Proceedings Posters. Edited by Per Strand, Justin Brown and Torun Jolle. 2008. P. 1-4.
37. Alexeev D., Shelutko V., Mikhteeva E., Dmitricheva L. Distribution of radiocaesium in arctic marine sediments. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018 / Conference proceedings, 2018. P. 1103—1110. DOI: 10.5593/sgem2018/3.2/S15.140
38. Galtsova V., Alexeev D. Benthic communities of Russian Arctic seas under radioactive pollution condition // Radioprotection. 2009. V. 44, No. 5. P. 713—718.
39. Alexeev D.K., Galtsova V.V. Effect of radioactive pollution on the biodiversity of marine benthic ecosystems of the Russian arctic shelf // Polar Science. 2012. V. 6, No. 2. P. 183—195.
40. Дмитриев В.В., Мякишева Н.В., Третьяков В.Ю., Хованов Н.В. Многокритериальная оценка экологического состояния и устойчивости геосистем на основе метода сводных показателей. II Трофический статус водных экосистем // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 1997. Вып. 1, № 23. С. 51—67.
41. Alexeev D.K., Dmitriev V.V., Mikhteeva E.Yu., Amaro-Medina D.R., Sverdlova O.A. An integrated assessment of the trophic status and water quality of the Nava Bay. Baltic Sea Day 2018. Saint-Petersburg, 2018. P. 52—54.
42. Alexeev D. Assessment of ecosystems health and sustainability of the Gulf of Finland. Baltic Sea Day 2019. Saint-Petersburg, 2019. P. 123—125.

References

1. Dmitriev V.V., Shelutko V.A. Methodological aspects in the development of applied ecology in the system of earth sciences. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Saint-Petersburg: RSHU Publishers. 2015, 39: 189-200. [In Russian].

2. Dmitriev V.V. Applied ecology in the system of higher geographical and hydrometeorological education. *Voprosy prikladnoj ekologii*. Issues in applied ecology. Collection of scientific papers. Saint-Petersburg: RSHU. 2002: 90-96. [In Russian].
3. Shelutko V.A., Dmitriev V.V. Applied ecology and geocology in the system of higher geographical and hydrometeorological education. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. Life safety, 2011, 2: 32-37. [In Russian].
4. Shelutko V.A., Dmitriev V.V., Galtsova V.V., Frumin G.T., Gutnichenko V.G. Geocological problems of large cities and industrial zones. *Voprosy prikladnoj ekologii*. Issues in applied ecology. Collection of scientific papers. Saint-Petersburg: RSHU. 2002: 6-15. [In Russian].
5. Alexeev D.K., Zueva N.V., Rozenkova I.V., Urusova E.S., Shelutko V.A. Environmental and Hydrometeorological Problems of Large Cities and Industrial Areas: New horizons. *Meteorologicheskij vestnik*. Meteorological Bulletin. 2017, 9 (2): 1-8. [In Russian].
6. Shelutko V.A., Dmitriev V.V., Galtsova V.V., Gutnichenko V.G., Lesama de la Torre H.L., Gavrilov A.S., Baranova M.E., Hernandez Serda M.E.E., Garsa Merodio G.G., Boyo Manent M., Hernandez Santana H.R., Marsan Bartolome R., Montero Gama M., Venciulis L.S., Skorik Yu.I., Meras L., Dominguez A., Ayala K. *Ekologiya i gidrometeorologiya bol'shih gorodov i promyshlennyh zon (Rossiya-Meksika). Tom 1. Analiz okruzhayushchej sredy*. Ecology and hydrometeorology of large cities and industrial zones (Russia-Mexico). V. 1. Environmental Analysis. Saint-Petersburg, RSHU, 2009: 180. [In Russian].
7. Perevoshchikova M.V., Escolero O., Kolesnikova E.V., Shelutko V.A., Urusova E.S., Dmitriev V.V., Khovanov N.V., Ogurtsov A.N., Vasiliev V.Yu., Protsenko Yu.A., Primak E.A., Galtsova V.V., Tretyakov V.Yu., Frumin G.T. *Ekologiya i gidrometeorologiya bol'shih gorodov i promyshlennyh zon (Rossiya-Meksika). Tom 2. Monitoring okruzhayushchej sredy*. Ecology and hydrometeorology of large cities and industrial zones (Russia-Mexico). Volume 2. Environmental Monitoring. RSHU. Saint-Petersburg. 2010: 182. [In Russian].
8. Zektser I.S., Novoselova L.P., Grebenyuk A.N., Merabishvili V.M., Musiychuk Yu.I., Popov G.A., Strukov D.R., Boyo Manent M., Rodriguez H.M., Valdivia I., Valdivia I., Baume O., Asdenteufel P., Ugalde V., Perevoshchikova M., Martinez S., Siyer Contreras D., Moran Esquimia H., Delgado Campos H., Angeles Serrano G., Lesama De La Torre H.L., Vencyulis L.S., Skorik Yu.I. *Ekologiya i gidrometeorologiya bol'shih gorodov i promyshlennyh zon (Rossiya-Meksika). Tom 3. Puti resheniya problem okruzhayushchej sredy v bol'shih gorodah i promyshlennyh zonah. Upravlenie okruzhayushchej sredoj*. Ecology and hydrometeorology of large cities and industrial zones (Russia-Mexico). Volume 3. Ways to solve environmental problems in large cities and industrial zones. Environmental management. Saint-Petersburg RSHU. 2010: 230. [In Russian].
9. Ershova A., Alexeev D., Shilin M., Bagrova T. Design of Study Programs on Sustainable Development. In: Leal Filho W. (eds) *Encyclopedia of Sustainability in Higher Education*. Springer, Cham. 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-63951-2_208-1
10. Nisiforova O.S., Primak E.A. Informing the population as the basis for the development of a system for handling municipal solid waste. *Meteorologicheskij vestnik*. Meteorological Bulletin. 2017, 9 (2): 137-141. [In Russian].
11. Nisiforova O.S., Primak E.A. Informing the population in the field of selective waste collection. *Ekologiya Rossii: na puti k innovaciyam*. Ecology of Russia: Towards Innovation. Astrakhan. 2017, 16: 90-94. [In Russian].
12. Shelutko V.A. Assessment of the extreme levels of chemical pollution of the river network of urbanized areas. Geological problems of large cities and industrial zones. *Voprosy prikladnoj ekologii*. Issues in applied ecology. Collection of scientific papers. Saint-Petersburg: RSHU. 2002: 15-22. [In Russian].
13. Shelutko V.A., Kolesnikova E.V. Analysis of the influence of accounting for the water content of rivers on the accuracy of calculating the average annual concentrations of pollutants. *Vestnik Sankt-Petersburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. Bulletin of St. Petersburg State University. Ser. 7. Geology. Geography. 2008, 3: 81-88 [In Russian].
14. Shelutko V.A., Smyzhova E.S. Dynamics of the runoff of nutrients along the Velikaya river to the Lake Peipus. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Saint-Petersburg: RSHU. 2010, 13: 89-104 [In Russian].
15. Urusova E.S. Application of the methodology for the complex accounting of the characteristics of hydrochemical information in assessing the runoff of biogenic substances. *Obshchestvo. Sreda. Razvitie*. Society. Environment. Development. 2017, 1 (42): 88-92. [In Russian].

16. Shelutko V.A., Mulyava A.V. The influence of taking into account the peculiarities of hydrochemical information on the results of calculating the runoff of nutrients along the Luga River. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Saint-Petersburg: RSHU. 2015, 40: 203-213. [In Russian].
17. Shelutko V., Govor A., Alexeev D. Analysis of the total phosphorus runoff in the Neva River. IV Vinogradov Conference “Hydrology: from Learning to Worldview” in Memory of Outstanding Russian Hydrologist Yuri Vinogradov. E3S Web of Conferences. 2020, 163: 03013. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303013>
18. Shelutko V., Makarova M. Issues of accounting for outliers in assessing of the nutrients runoff. IV Vinogradov Conference “Hydrology: from Learning to Worldview” in Memory of Outstanding Russian Hydrologist Yuri Vinogradov. E3S Web of Conferences. 2020, 163: 03014. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303014>
19. Zueva N.V., Alexeev D.K., Kulichenko A.Yu., Primak E.A., Zuev Yu.A., Voyakina E.Yu., Stepanova A.B. Bioindication and biotesting in freshwater ecosystems: a textbook for higher education. Saint-Petersburg: RSHU, 2019: 140. [In Russian]. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/rid_bc980f-344501434587067731d9a292f6.pdf
20. Zueva N.V., Galtsova V.V., Dmitriev V.V., Stepanova A.B. The use of structural characteristics of macrophyte communities as an indicator of the ecological state of small rivers in the north-west of the Leningrad region. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. Bulletin of St. Petersburg State University. Geology, Geography, Ser. 7. 2007, 4: 60-71. [In Russian].
21. Zueva N.V., Mostovaya M.A., Leshukova A.I. Characteristics of macrophytes in assessing the water quality of small rivers in St. Petersburg. *Bioindikaciya v monitoringe presnovodnyh ekosistem*. Bioindication in monitoring freshwater ecosystems. Saint-Petersburg: Lyubavich, 2011: 137-142. [In Russian].
22. Zueva N.V., Bobrov A.A. Use of macrophytes in assessing the ecological status of a small river (by the example of the Okhta River, St. Petersburg). *Biologiya vnutrennih vod*. Inland Water Biology. 2018, 11 (1): 34-41. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995082917040137>
23. Primak E.A., Dmitriev V.V. Development of an integral index for assessing the stability of reservoirs to changes in the parameters of natural and anthropogenic regimes. *Geograficheskie i geoekologicheskie aspekty razvitiya prirody i obshchestva*. Geographic and geoecological aspects of the development of nature and society. Collection of scientific articles based on the materials of scientific and practical conferences, 2006-2007. St. Petersburg State University, Faculty of Geography and Geoecology. Saint-Petersburg, 2008: 234-241. [In Russian].
24. Dmitriev V.V., Zueva N.V., Lubentsova A.S., Valatin D.I., Vasyakina A.V., Nepomnyashchaya A.V., Nikonov I.A., Ostashov A.A., Podshivalova D.O., Prokopenya A.D., Sokolova D.P., Chernenko Yu.I. Ecological state of Karelian Ladoga water bodies: traditional view and contemporary accents. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. A theoretical research journal. Saint-Petersburg: RSHU. 2017, 47: 126-144. [In Russian].
25. Kozlova A.V., Zueva N.V. Assessment of the ecological state of a number of water bodies in the North-West of Russia using toxicological characteristics. *Meteorologicheskij vestnik*. Meteorological Bulletin. 2017, 9 (2): 100—105. [In Russian].
26. Zueva N.V., Kozlova A.V., Kulichenko A.Yu. Use of toxicological characteristics in the integrated assessment of the water bodies ecological status. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2018, 3: 43—56. [In Russian]. DOI: <https://doi.org/10.17076/lim706>
27. Primak E.A., Zueva N.V., Alexeev D.K., Voyakina E.Yu. Standardization and reduction of negative impact on aquatic ecosystems. Saint-Petersburg. RSHU. 2020. [In Russian].
28. Alexeev D.K., Galtsova V.V., Dmitriev V.V. Environmental monitoring: current state, approaches and methods. Part I. Saint-Petersburg. RSHU, 2011: 302. [In Russian].
29. Alexeev D.K., Dmitriev V.V., Amaro Medina D.R. Influence of water temperature on mass transfer between the components of the aquatic ecosystem. *Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i fiziko-matematicheskie nauki*. Bulletin of the Pskov State University. Series: Natural and physical and mathematical sciences. 2017, 11: 3-12. [In Russian].

30. *Kolesnikova E.V.* Integral assessment of the quality of the environment of the Neman district of the Kaliningrad region. *Sovremennyj uchenyj*. Modern scientist. 2017, 7: 26-28. [In Russian].
31. Kolesnikova E. Environmental issues in sustainable use of water from mi-nor and medium rivers in the Yenisei River Basin District. IV Vinogradov Conference “Hydrology: from Learning to Worldview” in Memory of Out-standing Russian Hydrologist Yury Vinogradov. E3S Web of Conferences. 2020, 163, 03007. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016303007>
32. *Nizamutdinov T.I., Kolesnikova E.V.* Assessment of atmospheric air pollution in Ufa with benz(a)pyrene for 2012-2016. *Meteorologicheskij vestnik*. Meteorological Bulletin. 2018, 10 (2): 17-27. [In Russian].
33. *Galtsova V.V., Kulangieva L.V., Alexeev D.K.* Assessment of the ecological state of the shelf zone of the Arctic seas of Russia under the conditions of anthropogenic load. *Ekologicheskije i gidrometeorologicheskije problemy bol'shij gorodov i promyshlennyh zon*. Ecological and hydrometeorological problems of large cities and industrial zones. International scientific conference. 2002. Saint-Petersburg: RSHU. 2004: 43-48. [In Russian].
34. *Galtsova V.V., Kulangieva L.V., Alexeev D.K.* Assessment of the ecological state of bottom sediments of the Kola Bay of the Barents Sea. *Voprosy prikladnoj ekologii*. Issues in applied ecology. Collection of scientific papers. Saint-Petersburg: RSHU. 2002: 65-70. [In Russian].
35. *Galtsova V.V., Alexeev D.K., Dmitriev V.V.* Multi-criteria assessment of the ecological state of the shelf zone of the Arctic seas of Russia. *Geograficheskie i geoekologicheskie aspekty razvitiya prirody i obshchestva*. Geographic and geocological aspects of the development of nature and society. Collection of scientific papers. Saint-Petersburg. 2008: 242-251. [In Russian].
36. *Alexeev D.K., Galtsova V.V.* Benthic communities of Russian Arctic seas under radioactive pollution condition. International Conference on Radioecology & Environmental Radioactivity. Proceedings Posters. Edited by Per Strand, Justin Brown and Torun Jolle. 2008: 1-4.
37. *Alexeev D., Shelutko V., Mikhteeva E., Dmitricheva L.* Distribution of radiocaesium in arctic marine sediments. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2018. Conference proceedings. 2018: 1103-1110. DOI: 10.5593/sgem2018/3.2/S15.140
38. *Galtsova V., Alexeev D.* Benthic communities of Russian Arctic seas under radioactive pollution condition. Radioprotection. 2009, 44 (5): 713-718.
39. *Alexeev D.K., Galtsova V.V.* Effect of radioactive pollution on the biodiversity of marine benthic ecosystems of the Russian arctic shelf. Polar Science. 2012, 6 (2): 183-195.
40. *Dmitriev V.V., Myakisheva N.V., Tretyakov V.Yu., Khovanov N.V.* Multi-criteria assessment of the ecological state and stability of geosystems based on the method of summary indicators. II Trophic status of aquatic ecosystems. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. Bulletin of Saint Petersburg State University. ser. 7. 1997, 1 (23): 51-67. [In Russian].
41. *Alexeev D.K., Dmitriev V.V., Mikhteeva E.Yu., Amaro-Medina D.R., Sverdlova O.A.* An integrated assessment of the trophic status and water quality of the Nava Bay. Baltic Sea Day 2018. Saint-Petersburg. 2018: 52-54.
42. *Alexeev D.* Assessment of ecosystems health and sustainability of the Gulf of Finland. Baltic Sea Day 2019. Saint-Petersburg. 2019: 123-125.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 20.08.2020

Принята после доработки к публикации 07.09.2020

Сведения об авторах

Алексеев Денис Константинович, канд. геогр. наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета, d.alekseev@rshu.ru

Шелутко Владислав Аркадьевич, д-р геогр. наук, профессор, профессор кафедры прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета, shelutko@rshu.ru

Зуева Надежда Викторовна, канд. геогр. наук, доцент кафедры прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета, nady.zuueva@yandex.com

Колесникова Евгения Владимировна, канд. геогр. наук, доцент кафедры прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета, e.kolesnikova@rshu.ru

Урусова Елена Сергеевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета, e.s.urusova@gmail.com

Примак Екатерина Алексеевна, канд. геогр. наук, доцент кафедры прикладной и системной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета, ekaterinaprimak@ya.ru

Information about authors

Alexeev Denis, PhD (Geogr. Sci.), Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University, Head of Department of Applied and Systems Ecology

Shelutko Vladislav, Grand PhD (Geogr. Sci.), Professor, Russian State Hydrometeorological University, Department of Applied and Systems Ecology

Zueva Nadezhda, PhD (Geogr. Sci.), Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University, Department of Applied and Systems Ecology

Kolesnikova Evgenia, PhD (Geogr. Sci.), Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University, Department of Applied and Systems Ecology

Urusova Elena, PhD (Geogr. Sci.), Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University, Department of Applied and Systems Ecology

Primak Ekaterina, PhD (Geogr. Sci.), Associate Professor, Russian State Hydrometeorological University, Department of Applied and Systems Ecology