

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-210-221>

УДК 502.51(28):502.175(985)



Концептуальные и методологические подходы к организации системы контроля поверхностных вод Арктической зоны Российской Федерации

В.А. Румянцев^{1,2}✉

¹ ФБГУ Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия

² ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия

✉office@spbrc.nw.ru

Аннотация. В статье предлагаются научно-методологические основы развития системы контроля пресных вод Арктической зоны РФ, конечной целью которых является возможность получения объективной информации об их экологическом состоянии и качестве воды. Систему контроля за постоянным антропогенным воздействием на пресные воды предлагается организовать на реперных водных объектах, выбранных по ландшафтно-гидрологическому принципу. Состав определяемых на них показателей включает интегральные параметры, характеризующие развитие негативных экологических внутриводоемных процессов в пресных водах.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, аэротехногенное загрязнение, внутриводоемные процессы, негативные последствия, пресные воды, экологический кризис

Для цитирования: Румянцев В.А. Концептуальные и методологические подходы к организации системы контроля поверхностных вод Арктической зоны Российской Федерации. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2024;70(2):210–221. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-210-221>

Поступила 18.01.2024

После переработки 29.03.2024

Принята 02.05.2024

Conceptual and methodological approaches to the organisation of a signal system for controlling the ecological state of surface fresh waters in the territory of the Arctic zone of the Russian Federation

Vladislav A. Rumyantsev^{1,2}✉

¹ St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

² State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute,
St. Petersburg, Russia

✉office@spbrc.nw.ru

Abstract. An overwhelming part of fresh waters is concentrated in environmentally sensitive small rivers, lakes and swamps. A complete lack of control over their state coupled with the poor economic development of the Arctic zone threatens to lead to large-scale regional and interregional disasters. The article presents an approach to the organisation of a system of control over the ecological state of fresh waters, based on the regularities and generalizations obtained by research and design organisations based on many years of research. It is proposed to locate observation points at reference water bodies selected on the basis of landscape-hydrological zoning of the controlled territory. The set of signal indicators determined at these points will consist of a small number of integral hydro-chemical parameters of water quality which allow describing the formation and development of negative ecological intra-water body processes, as well as, in general terms, the socio-economic consequences of these processes. In general, the proposed approach is the basis for the organisation of a signal system of freshwater monitoring aimed at informing the environmental authorities in advance about the need to take preventive measures to avoid a large-scale environmental crisis.

Keywords: aerotechnogenic pollution, anthropogenic impact, ecological crisis, fresh water, intra-reservoir control, negative consequences

For citation: Rumyantsev V.A. Conceptual and methodological approaches to the organisation of a signal system for controlling the ecological state of surface fresh waters in the territory of the Arctic zone of the Russian Federation. *Arctic and Antarctic Research*. 2024;70(2):210–221. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-210-221>

Received 18.01.2024

Revised 29.03.2024

Accepted 02.05.2024

Введение

Соответствующими Указами Президента РФ и Постановлениями Правительства РФ предусмотрено широкое освоение Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) на период до 2035 г., которое послужит основой социально-экономического развития страны на длительную перспективу¹. Планируется поэтапное освоение АЗРФ с реализацией конкретных целей и задач на каждом из этапов. При этом должна учитываться преемственность результатов, чтобы работы предыдущих этапов не стали препятствием для достижения последующих целей. Сказанное прежде всего относится к вопросу сохранения природной среды Арктической зоны. К сожалению, уже существуют примеры значительного разрушения природной среды в АЗРФ [1–3]. Тысячи тонн минеральных солей, взвешенных веществ, биогенных элементов, сотни тонн тяжелых металлов поступали в поверхностные водные объекты ряда арктических регионов со стоками горнопромышленных комплексов. Среди водоемов Кольского полуострова, экологическое состояние которых существенно ухудшилось в связи с деятельностью комплексов и требует улучшения, оказались Имандра, Большой Вудьявр, Умбозеро, Ловозеро, Ковдор, Чунозеро [3–5]. На севере Средней Сибири вызывает опасение деятельность ГМК «Норильский никель», которая оказывает сильное антропогенное воздействие на Норило-Пясинскую водную систему. Крупное озеро Пясино, площадью более 700 кв. км, из-за многолетнего промышленного загрязнения, в первую очередь тяжелыми металлами, имеет измененные характеристики экосистемы. В результате произошедших в мае 2020 г. аварий на

¹ Указ Президента РФ от 26 октября 2020 г. № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» в ред. от 12.11.2021, 27.02.2023. URL: <https://base.garant.ru/74810556/> (дата обращения: 14.02.2024).

ТЭЦ-3 в г. Норильске в окружающую среду попало около 21 тыс. тонн нефтепродуктов [6]. Нанесенный ими экологический ущерб составил свыше 918 млн рублей.

Причина подобных происшествий заключается в стремлении минимизировать затраты и ускорить получение планируемых промышленных результатов за счет сокращения объемов работ, главным образом в природоохранной деятельности. Одним из способов снижения влияния негативной деятельности предприятий на окружающую среду является своевременное получение контролирующими службами информации о допущенных ими нарушениях.

В данной статье предлагаются научно-методологические основы развития системы контроля поверхностных пресных вод АЗРФ, конечной целью которых является возможность получения объективной информации об их экологическом состоянии и качестве воды.

Обоснование необходимости создания системы контроля состояния пресных вод АЗРФ

В процессе освоения АЗРФ будет происходить развитие арктических регионов с созданием в них горнодобывающих, горноперерабатывающих, нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих, химических, энергетических, транспортных и других предприятий. У большинства из них в процессе производственной деятельности образуются огромные объемы опасных загрязняющих веществ [1–3], попадание которых в окружающую среду приведет к образованию так называемых зон экологического неблагополучия, вызванного нарушением условия экологической безопасности водных объектов и запретом на их использование в питьевых, хозяйственно-бытовых и рекреационных целях [7].

По мере расширения хозяйственного освоения и при отсутствии мер по сдерживанию антропогенного воздействия ситуация в этих зонах постепенно перерастет в единый региональный экологический кризис, а возможно, и в межрегиональную экологическую катастрофу с появлением «мертвых» водных объектов, представляющих угрозу для людей и животных [7].

Такому ходу распространения негативных событий в АЗРФ способствует множество обстоятельств: большие пространства и хорошо развитая гидрографическая сеть, низкая устойчивость природной среды к антропогенным воздействиям, базирование в арктических регионах огромных стай перелетных птиц, переносящих загрязняющие и отравляющие химические вещества на большие расстояния от источника их образования, а также наблюдающееся изменение климата [5, 7–9]. Кроме образования новых водных объектов и переформирования гидрографической сети при оттаивании многолетней мерзлоты происходит освобождение депонированных в них опасных химических соединений и патогенных микроорганизмов [10–12], что в целом дополняет и усиливает действие антропогенного пресса. В результате подобного развития событий нельзя полностью исключить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных невозможностью одновременно обеспечить выполнение намеченных планов хозяйственного освоения территорий и социально-экономическое развитие регионов.

Положительный водный баланс при существующем строении геологического фундамента и сложившемся рельефе привели к формированию в Арктической зоне огромных запасов пресной воды, которая сосредоточена в 1,77 млн рек, 2,5 млн озер,

а также в болотах, суммарная площадь которых составляет 20 % от площади АЗРФ [11–13]. Подавляющая часть пресноводных объектов АЗРФ относится к не охваченным наблюдениями малым водным объектам. Так, при наличии в АЗРФ 2,5 млн озер мониторинг осуществляется лишь на 8 крупных водоемах Европейской части и всего на 6 в Азиатской части [11]. Схожая ситуация и по наблюдениям на реках и болотах. Очевидно, что при таком положении с сетью наблюдений за жизненно важными пресными водами невозможно выполнить требования директивных органов об осуществлении хозяйственного освоения АЗРФ без нанесения непоправимого вреда окружающей среде. При большом числе источников антропогенного воздействия отсутствие специализированной системы контроля за состоянием пресных вод чревато опасными последствиями. Не дожидаясь их проявления в арктических регионах, в федеральных и региональных экологических программах по Арктике в качестве одной из первостепенных задач следует предусмотреть создание систем контроля за состоянием пресных вод в районах активного антропогенного воздействия.

Концептуальные основы системы контроля пресных вод АЗРФ

Проведение государственного мониторинга состояния природной среды является функцией Росгидромета. Накопленные огромные материалы многолетних наблюдений по всей стране и их согласованность с наблюдениями зарубежных стран представляют большую ценность для решения глобальных климатических и экологических проблем, а также проблем, вызванных нехваткой в мире питьевой воды [14]. Понимание необходимости взвешенного подхода к модернизации системы наблюдений нашло воплощение в Концепции совершенствования мониторинга окружающей среды², где рассмотрен важный вопрос перестройки государственной наблюдательной сети с учетом конкретных задач федерального, регионального и локальных уровней на 2017–2025 гг. (табл. 1). Однако остался без внимания не менее важный вопрос изменения программ наблюдений. Возможное число химических показателей нередко излишне, и требуются значительные затраты на их определение, в силу чего получение фактических данных об уровнях загрязнения окружающей среды становится часто неосуществимым. Также в Концепции отмечено, что «в обозримой перспективе маловероятно, что сложившаяся экономическая обстановка будет способствовать возложению на органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации обязанности по созданию территориальных систем наблюдений». При такой постановке вопроса о работе территориальных систем вряд ли приходится рассчитывать на организацию наблюдений с момента начала серьезных антропогенных воздействий на пресные воды. В лучшем случае это произойдет, когда негативные изменения состояния пресных вод станут заметными и приблизятся к уровню регионального экологического кризиса. При этом отсутствие данных наблюдений за предшествующий период не позволит оценить темпы негативных изменений и осуществить превентивные меры для предотвращения катастрофических процессов.

Концепция мониторинга поверхностных пресных вод в условиях активного освоения АЗРФ должна заключаться в том, что запуск достаточно крупного промышленного предприятия необходимо сопровождать одновременным построением

² Приказ Росгидромета № 23 от 02 февраля 2017 г. «Об утверждении Концепции совершенствования системы мониторинга загрязнения окружающей среды с учетом конкретизации задач федерального, регионального и локального уровней на 2017–2025 годы».

Таблица 1

Распределение обязанностей между федеральной системой Росгидромета и системами регионального и локального уровней по оценке качества природных вод*

Table 1

Distribution of responsibilities between the federal system of Roshydromet and the systems of the regional and local levels for assessing the quality of natural waters*

Система наблюдений	Поставленные задачи
Государственная наблюдательная сеть	Оценка загрязнения окружающей среды, обусловленная последствиями глобального и межрегионального воздействия выбросов и сбросов загрязняющих веществ
Территориальные системы наблюдений	Оценка загрязнения окружающей среды, обусловленная последствиями регионального воздействия выбросов и сбросов загрязняющих веществ
Локальные системы наблюдений	Оценка загрязнения окружающей среды, обусловленная воздействием выбросов и сбросов загрязняющих веществ конкретными предприятиями

Примечание. * — таблица построена на материалах Приложения к приказу № 23 Росгидромета от 02 февраля 2017 г.

Note. * — the table is based on the materials of the Appendix to the Order No. 23 of the Federal Hydrometeorological Service dated February 02, 2017.

локальных и региональных систем контроля за экологическим состоянием пресных вод и началом их работы.

Особую опасность для пресных вод представляют выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, так как в этом случае воздушными потоками они могут переноситься на значительные расстояния в сотни и более километров от источника образования с охватом химическими соединениями больших площадей [2, 3]. Так, аэротехногенный перенос загрязняющих веществ при промышленном освоении Арктической зоны приводит к серьезным негативным изменениям в экологическом состоянии и качестве воды озер [12]. Очевидно, что подобные изменения будут иметь место также в реках и болотах, т. е. целиком охватят все поверхностные водные объекты в АЗРФ. О серьезности аэротехногенного переноса свидетельствует, в частности, факт наличия только в Мурманской области более 4000 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, 40 % которых не имеют очистных сооружений и являются непосредственной причиной образования локальных экологических кризисов в водных объектах [8]. Из-за низкого уровня технического оснащения государственной наблюдательной сети за загрязнением атмосферного воздуха только 7 % пунктов наблюдений осуществляет непрерывную регистрацию 12 % загрязняющих веществ от общего числа наблюдаемых в воздухе примесей [8]. Это еще раз подчеркивает необходимость создания системы контроля за состоянием пресноводных объектов, подверженных воздействию аэротехногенного переноса загрязняющих веществ, которое по своим масштабам существенно превышает воздействие сбросов сточных вод промышленными, сельскохозяйственными, коммунально-бытовыми и иными предприятиями. Основная угроза экологическому благополучию поверхностных водных объектов в АЗРФ от аэротехногенного переноса заключается в больших площадях распространения загрязняющих веществ при малой

интенсивности, низкой концентрации и большой продолжительности воздействия. В итоге в пресных водах возникает постоянная стрессовая реакция гидробионтов, охватывающая все звенья трофической цепи экосистемы.

Характерными особенностями аэротехногенного загрязнения пресных вод являются:

- 1) большая площадь охвата пресных вод;
- 2) одновременное присутствие в воде многих химических веществ с низкой концентрацией;
- 3) присутствие токсических веществ;
- 4) малая интенсивность загрязнения и продолжительное хроническое воздействие на пресные воды;
- 5) высокая степень неопределенности аэротехногенного воздействия, смена скорости и направления переноса загрязняющих веществ;
- 6) наличие зон с различным уровнем загрязнения: наименее опасная — вблизи источника выбросов, наиболее опасная — вдоль границы ареала загрязнения;
- 7) недооценка уровня опасности и масштабов аэротехногенного загрязнения.

Результаты многолетних исследований отечественных и зарубежных гидробиологов убедительно показали, что многие химические вещества в малых концентрациях проявляют значительно большее воздействие на живые организмы, чем при высоких концентрациях [15–16]. Однако при существующем в стране природоохранном положении даже обнаружение диоксинов [15] в водном объекте при концентрациях ниже ПДК не будет основанием для признания природоохранными органами пресных вод вредными для человека и животных. Дополнительную опасность для живых организмов представляет одновременное присутствие в воде различных химических веществ низкой концентрации. Это может приводить к непредсказуемым экологическим последствиям. Несмотря на убедительность обоснований, такое заключение требует серьезной экспериментальной проверки, которая до сих пор не проводилась.

Характер аэротехногенного загрязнения зависит от скорости и направления движения воздушных масс. В подавляющем большинстве случаев вблизи источника выбросов выпадают наиболее тяжелые и наименее опасные твердые загрязняющие вещества, а наиболее опасные — мелкодисперсная пыль, полужидкие и жидкие токсичные вещества — достигают границ ареала площади охвата [8]. Отмеченные обстоятельства делают задачу построения системы контроля состояния пресных вод необычайно сложной и требующей нестандартного подхода. При этом за счет хорошо развитой гидрографической сети зона распространения загрязняющих веществ в пресных водах может существенно превышать границы района их выпадения из атмосферы. Важно заблаговременно информировать региональные природоохранные структуры о приближении к критическому уровню состояния пресноводных объектов, после пересечения которого они перестанут быть экологически безопасными и будут иметь ограничения в их использовании. Чтобы не допустить последующего кризиса, потребуется проведение определенных превентивных мероприятий, таких как модернизация на предприятиях производственных процессов или очистных сооружений, а в отдельных случаях снижение темпов развития промышленных предприятий. Хотя подобные мероприятия являются с организационной и технологической позиции достаточно сложными и дорогостоящими, вместе с тем их реализация потребует значительно меньших усилий и средств, чем устранение по-

следствий возникшей кризисной экологической ситуации. Заметим, что в отдельных арктических регионах образование масштабных по площади кризисных экологических ситуаций происходит за счет воздушного переноса загрязняющих веществ от промышленных предприятий других сопредельных регионов или даже зарубежных стран [5, 8]. В этих случаях превентивные меры будут заключаться в установлении истинного виновника негативных последствий и заключении с ним соглашения об осуществлении действий, направленных на снижение антропогенной нагрузки на поверхностные воды пострадавшего региона. В дополнение подчеркнем, что по своей единственной функциональной обязанности — заблаговременно информировать природоохранные органы о приближении пресных вод к кризисному состоянию — предлагаемая система контроля относится к разряду сигнальных, а по поставленной перед ней целевой установке — обеспечение возможности своевременного принятия решения о проведении превентивных мероприятий во избежание огромных социально-экономических потерь — она имеет, несомненно, стратегическое предназначение.

При создании системы контроля за состоянием пресных вод в условиях постоянного антропогенного воздействия разумным представляется воспользоваться богатым научно-методическим и практическим опытом работы системы мониторинга поверхностных вод Росгидромета. Предлагаемый автором подход опирается на тот факт, что следствием антропогенного воздействия на пресные воды являются нарушения баланса содержащихся в них загрязняющих и биогенных веществ, а также продукционно-деструктивных процессов в экосистемах, которые в итоге приводят к ускоренному развитию негативных внутриводоемных процессов: антропогенного эвтрофирования, закисления, загрязнения тяжелыми металлами и биогенными веществами, токсификации. Эти процессы давно и успешно изучаются учеными [5, 17]. Установленные пространственные закономерности изменения состояния пресных вод, а также интегральные характеристики параметризации, отражающие изменения их состояния во времени, позволяют сформулировать методологический подход к созданию системы контроля за состоянием пресных вод АЗРФ.

Основные методологические положения системы контроля пресных вод

Методология создания системы наблюдений за экологическим состоянием пресных вод должна быть адекватной сложности аэротехногенного загрязнения и негативных внутриводоемных процессов. Перед тем как перейти к ее рассмотрению, дадим представление об оптимальной или, более правильно, рациональной системе контроля пресных вод (табл. 2). Оно основано на собственных представлениях автора о сложностях работы в Арктической зоне, трудностях с коммуникациями и доступом к водным объектам, большой рассредоточенности водных объектов и ограниченных кадровых, технических и финансовых возможностях природоохранных органов. Система наблюдений должна строиться на малозатратных подходах и доступных методах и средствах измерений и обработке данных при максимальном стремлении к получению вполне приемлемой информации об экологическом состоянии водных объектов на контролируемой территории. Размещение сети пунктов наблюдений должно базироваться на принципах ландшафтно-гидрологического районирования контролируемой территории, а состав сигнальных показателей — на интегральных характеристиках внутриводоемных негативных процессов и их параметризациях.

Таблица 2

**Основные требования к рациональной сигнальной системе
 контроля экологического состояния поверхностных водных объектов
 на территории Арктической зоны РФ**

Table 2

**Basic requirements for a rational signalling system for controlling the ecological state
 of surface bodies of water in the Arctic zone of the Russian Federation**

Полнота информации	Получение полноценной диагностической информации об основных негативных внутриводоемных процессах
Надежность информации	Достаточная чувствительность методов и средств для выявления значимых изменений в развитии негативных внутриводоемных процессов
Стабильность работы системы	Гарантия слабой вариабельности результатов при повторных определениях
Оптимальность системы	Минимально необходимое и достаточное число показателей, включая биотесты и биоиндикаторы, а также количество пунктов их определения для оперативного ответа на вопрос об экологической безопасности пресных вод
Устойчивость системы	Возможность использования методов и средств во всех арктических регионах
Доступность системы	Возможность применения методов и средств специалистами и подготовленными волонтерами
Экономичность системы	Направленность на обеспечение экологической безопасности вод при доступных финансовых и трудовых затратах
Интерпретация информации	Понятна представителям природоохранных органов и лицам, принимающим управленческие решения, общественным организациям
Перспективы развития системы контроля	Автоматизированная природоподобная технология контроля на основе использования биообъектов, «умных» технических систем и беспилотных летательных аппаратов

Методология размещения сети пунктов наблюдений

Состояние водных объектов во многом определяется физико-географическими условиями. Водные объекты, находящиеся в однородном ландшафтно-гидрологическом районе, при отсутствии антропогенного пресса имеют идентичный ход развития, а полученные для ряда водных объектов тенденции изменения их состояния являются типичными для большинства остальных объектов [5, 8, 10, 11]. Это позволяет при построении сети пунктов наблюдений сигнальной системы контроля в АЗРФ воспользоваться методом аналогии, основанном на использовании реперных (репрезентативных) объектов. Если контролируемая территория является достаточно большой, то в силу ее размеров на ней могут встречаться разнообразные природные условия и ландшафты, для которых характерна разная устойчивость и реакция на постоянное антропогенное воздействие. Очевидно, что в подобных случаях опираться на данные только одного реперного водного объекта недостаточно и здесь могут потребоваться несколько объектов. При выполнении ландшафтно-гидрологического районирования можно воспользоваться методологическим подходом, использованным в работе [13].

Методология выбора сигнальных показателей системы контроля

Сигнальная система стратегического контроля не предназначена для решения научно-прикладных задач, и, кроме того, она должна быть экономически оправданной и ориентированной на четко обозначенную цель и конкретного потребителя — региональные природоохранные органы и лиц, принимающих управленческие решения. Важно то, что основные закономерности образования, формирования и развития негативных внутриводоемных процессов, а также ход вызванных ими социально-экономических последствий в основных чертах могут быть описаны с помощью небольшого числа интегральных показателей и параметризаций.

Концепция параметрического подхода впервые была применена Институтом озероведения РАН при создании системы ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на урбанизированных водоемах Санкт-Петербурга [18]. Система была опробована на 240 естественных и искусственных водоемах, и в силу своей высокой оперативности, эффективности и рентабельности она получила широкое распространение в регионе и стала определяющей в деятельности природоохранных органов города при отборе ими первоочередных водоемов для осуществления на них необходимых для улучшения экологической ситуации работ по рекультивации. Позднее система ранней диагностики была рекомендована для работ на малых озерах. Есть основания ожидать, что набор сигнальных показателей, используемый в системе ранней диагностики, окажется вполне приемлемым и для системы контроля озер АЗРФ. Основанием для такого предположения служат установленные общие причины и закономерности возникновения и развития негативных внутриводоемных процессов на Северо-Западе РФ и в Арктической зоне. Уточнения, учитывающие особенности водных объектов АЗРФ, можно ввести путем параметризации. Необходимо проведение апробации на пресных водах отдельных арктических регионов имеющих показатели системы ранней диагностики, а потом по полученным результатам — корректировки с возможной заменой отдельных показателей и дополнением набора новыми показателями.

Биотестирование и биоидентификация токсичных пресных вод

Указанные ранее негативные экологические внутриводоемные процессы могут протекать как без, так и с достижением уровня токсичности воды. Поэтому в системе контроля пресных вод АЗРФ необходимо обязательно иметь показатель общей токсичности воды. В России, как и во многих других странах, в системах контроля вод осуществляется оценка их общей токсичности с использованием в качестве тест-объектов гидробионтов — рыб, водорослей, дафний, инфузорий и т. д. Наибольшее распространение среди них получили *Daphnia magna*, *Chlorella vulgaris*, *Paramecium caudatum*, которых легко культивировать в лабораторных условиях. Ветвистоусый рачок *Daphnia magna*, обладающий высокой чувствительностью ко многим загрязняющим веществам, был включен в систему ранней диагностики кризисных экологических ситуаций уже после ее опубликования. Вполне естественно этот тест-объект внести и в систему контроля пресных вод для выявления их общей токсичности, тем более что дафнии используются природоохранными органами во всех арктических регионах.

Вместе с тем установление факта интегральной токсичности воды является необходимым, но не всегда достаточным условием для выявления и привлечения к ответственности виновного в этом предприятия, особенно когда контролируемая территория

подвергается одновременному воздействию нескольких предприятий. При наличии официальной информации от предприятий о спектре образующихся на них классов токсичных загрязняющих веществ природоохранным органам потребуются данные, подтверждающие их присутствие в пресных водах контролируемой территории. Только это дает им основание предъявить одному, а возможно, и всем предприятиям обоснованное обвинение в нарушении экологического благополучия пресноводных объектов и выдвинуть предписания о необходимости принятия мер по снижению токсического воздействия на пресные воды. Для выявления состава загрязняющих веществ, вызывающих общую токсичность пресных вод в АЗРФ, полезными могут быть результаты многолетних исследований, выполненных в 1990–2000-х гг. Институтом озероведения РАН по разработке методов биоидентификации классов ксенобиотиков [19]. В качестве тест-объекта использовались *Daphnia magna*, а мишенью для оценки биохимического воздействия служили рецепторы их нервной системы. На первом этапе были детально изучены особенности реакции мишени на воздействие различных классов ксенобиотиков. Выявленные особенности реакции позволили на втором этапе исследований воспользоваться широко распространенным в медицине подходом, заключающимся в подборе на лабораторных тест-объектах — мышах и крысах — фармакологических препаратов, т. н. антидотов, усиливающих или ослабляющих биохимическое токсическое действие ксенобиотиков на мишень. Выполненные Институтом озероведения РАН исследования применительно к *Daphnia magna* с использованием различных фармакологических препаратов в качестве антидотов позволили разработать общий подход к биоидентификации классов ксенобиотиков. Опираясь на него, с помощью подбора соответствующих фармакологических средств — антидотов были созданы методы биоидентификации в воде следующих классов загрязняющих веществ [19]: хлорорганических соединений, фторорганических соединений, карбаматов, пестицидов класса пиретроидов, солей тяжелых металлов. Эти классы загрязняющих веществ отличаются высокой токсичностью, широким распространением в пресных водах, способностью к биоконцентрированию и избирательностью действия. Поэтому включение разработанных методов биоидентификации станет важным замыкающим звеном в предлагаемой системе контроля пресных вод АЗРФ. Это позволит в течение 12 часов определить наличие в воде названных классов опасных загрязняющих веществ без сложного аналитического оборудования [20]. Методы биоидентификации дают возможность не только установить основного виновника токсичности воды, но и оценить, насколько надо снизить на предприятии выбросы в атмосферу химических веществ совершенно конкретного класса опасности, что крайне важно в случае необходимости работ по модернизации.

Заключение

Подводя общий итог, следует отметить, что использование реперных водных объектов, выбранных исходя из особенностей ландшафтно-гидрологического районирования территории, в сочетании с применением интегральных характеристик, дающих обобщенное представление о возникновении и развитии внутриводоемных экологических кризисов и их последствиях, позволяет в принципе создать мало-затратную систему контроля пресноводных водоемов. Такая система обеспечит возможность получать информацию о возникновении чрезвычайных ситуаций на водных объектах АЗРФ. При этом даже самая современная диагностическая система полностью не исключает возможности получения неправильного вывода.

Последний в случае ошибочного проведения превентивных мероприятий станет причиной неоправданно больших средств и трудозатрат, а необоснованный отказ от их осуществления повлечет за собой экологический кризис в пресных водах. Чтобы снизить вероятность принятия ошибочного вывода вполне резонным будет проведение дополнительной разовой контрольной проверки на нескольких реперных водных объектах с использованием более широкого набора сигнальных показателей и с применением современного лабораторного аналитического оборудования.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Государственное задание СПб НЦ РАН от 27 декабря 2023 г. № 075-00611-24-00 на 2024 г. и на плановый период 2025 и 2026 гг.

Competing interests. The author declares no conflict of interest.

Funding. State assignment of the St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, December 27, 2023 No. 075-00611-24-00 for 2024 and for the planning period 2025 and 2026.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Лаверов Н.П., Васильев В.И., Макоско А.А. *Научно-технические проблемы освоения Арктики*. М.: Российская академия наук; 2015. 490 с.
2. Молчанов В. П., Акимов В. А., Соколов Ю. И. *Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации*. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС; 2011. 300 с.
3. Котова Е.И., Коробов В.Б., Павленко В.И. Экстремальные загрязнения на территории Арктической зоны РФ: случаи и анализ. *Проблемы региональной экологии*. 2018;1:67–72.
Kotova E.I., Korobov V.B., Pavlenko V.I. Extreme pollution in the Arctic zone of the Russian Federation: cases and analyses. *Regional environmental issues*. 2018;1:67–72. (In Russ.)
4. Ноговицын Р.Р., Васильева А.М. Обеспечение экологической безопасности в Арктической зоне Российской Федерации. *Проблемы современной экономики*. 2018;4(68):203–205.
Nogovitsyn R.R., Vasiljeva A.M. Ensuring the ecologic security in the Arctic zone of the Russian Federation (Russia, Yakutsk, Moscow). *Problems of modern economics*. 2018;4(68):203–205. (In Russ.)
5. Моисеенко Т.И., Яковлев В.А. *Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера*. Л.: Наука; 1990. 221 с.
6. Безматерных Ф.Н., Пузанов А.В., Котовщиков А.В., Толонеев А.П. Гидрохимические показатели качества воды Норило-Пясинской озерно-речной системы после разлива дизельного топлива на ТЭЦ-3 г. Норильска в 2020 г. *Сибирский экологический журнал*. 2021;28(4):408–422. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210402>
Bezmaternykh D.M., Puzanov A.V., Kotovshchikov A.V., Drobotov A.V., Tolomeev A.P. Hydrochemical indicators of water quality in the Norilsk-Pyasino lake-river system after a diesel fuel spill at Norilsk heat and power plant 3 in 2020. *Contemporary problems of ecology*. 2021;14(4):323–334. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SEJ20210402>
7. Ревич Б.А. Риски здоровью населения в «горячих» точках от химического загрязнения Арктического макрорегиона. *Проблемы прогнозирования*. 2020;2(179):148–157.
Revich B.A. Population health risks in the chemical pollution hotspots of the Arctic macroregion. *Studies on Russian economic development*. 2020;31(2):238–255. <https://doi.org/10.1134/S1075700720020100>
8. Кашулин Н.А., Денисов Д.Б., Валькова С.А., Вандыш О.И., Терентьев П.М. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона. *Труды Кольского НЦ РАН*. 2012;3(10):7–54.

- Kashulin N.A., Denisov D.B., Valkova S.A., Vandyshe O.I., Terentjev P.M. The modern tendencies of modification of fresh water ecosystems of the Euro-Arctic region. *Transactions of the Kola Science Centre of RAS*. 2012;3(10):7–54. (In Russ.)
9. Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Даниленко А.О. *Реки материковой части Российской Арктики*. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та; 2016. 275 с.
 10. Никаноров А. М., Иванов В. В., Брызгалов В. А. *Реки Российской части Арктики в условиях современного антропогенного воздействия*. Ростов-на-Дону: Изд-во НОК; 2007. 280 с.
 11. Румянцев В.А., Измайлова А.В., Макаров А.С. Состояние озерного фонда Арктической зоны Российской Федерации. *Вестник Российской академии наук*. 2021;91(2):115–126. <https://doi.org/10.31857/S0869587321020079>
Rumyantsev V.A., Izmailova A.V., Makarov A.S. Status of the lake fund of the Arctic zone of the Russian Federation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2021;91(1):26–36. <https://doi.org/10.1134/S101933162101007X>
 12. Никонов В.В., Моисеенко Т.И., Лукина Н.В. (ред.) *Структура и функции наземных и водных экосистем Севера в условиях антропогенного воздействия*. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН; 1990. 130 с.
 13. Румянцев В.А., Измайлова А.В. Районирование Арктической зоны РФ как основа разработки системы наблюдений за пресными водами. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2022;68(2):173–190. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-173-190>
Rumyantsev V.A., Izmailova A.V. Zoning of the Arctic zone of the Russian Federation as the basis for developing a freshwater observation system. *Arctic and Antarctic Research*. 2022;68(2):173–190. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-173-190>
 14. *Вода Арктики: запас на будущее. Почему водные ресурсы Арктической зоны России становятся серьезным экономическим активом*. Инвестиционный портал Арктической зоны России. 27 сентября 2020. URL: <https://arctic-russia.ru/article/voda-arktiki-zapas-na-budushchee/> (дата обращения: 14.02.24).
 15. Дмитриева А.Г. Роль низких концентраций загрязняющих веществ при оценке экологических рисков. В кн.: *Биоиндексация в мониторинге пресноводных экосистем. II*. СПб.: Изд-во «Любавич»; 2011. С. 12–13.
 16. Сазанов Л.А., Зайцев С.В. Действие сверхмалых доз (10^{-18} — 10^{-14}) биологически активных веществ: общие закономерности, особенности и возможные механизмы. *Биохимия*. 1992;57(10):1443–1460.
Sazanov L.A., Zaitsev S.V. Effects of ultra-low (10^{-18} — 10^{-14}) doses of biologically active compounds: general regularities, peculiarities, and possible mechanisms. *Biochemistry*. 1992;57(10):1443–1460. (In Russ.)
 17. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. *Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды*. М.: Наука; 2010. 288 с.
 18. Румянцев В.А., Игнатъева Н.В. *Система ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на водоемах*. СПб.: ВВМ; 2006. 149 с.
 19. Загребин А.О., Румянцев В.А., Тонкопий В.Д. Разработка методов биоидентификации ксенобиотиков для оценки качества вод. *Водные ресурсы*. 2018;43(1):92–96. <https://doi.org/10.7868/S0321059616010181>
Zagrebina A.O., Rumyantsev V.A., Tonkopi V.D. Developing methods for bioidentification of xenobiotics for water quality assessment. *Water resources*. 2018;43(1):92–96. <https://doi.org/10.7868/S0321059616010181>
 20. Амирова З.К., Кулагин А.А. *Стойкие органические соединения в атмосферном воздухе урбанизированных территорий*. Уфа: БГПУ имени М. Акмуллы; 2017. 224 с.