

DOI: 10.25283/2223-4594-2025-4-558-566  
УДК 502.51(28):502.175(985)

# ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПРИРОДОПОДОБНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕСНЫХ ВОД РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

В. А. Румянцев

Санкт-Петербургский научный центр РАН (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 10 июля 2025 г.

## Для цитирования

Румянцев В. А. Перспективы создания природоподобной технологической платформы контроля экологического состояния пресных вод российской Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2025. — Т. 15, № 4. — С. 558—566. — DOI: 10.25283/2223-4594-2025-4-558-566.

Разработана концепция создания технологической платформы сквозного контроля аэромеханического загрязнения пресных вод Арктической зоны Российской Федерации. Она базируется на результатах многолетних научных исследований и возможностях современных технических средств и технологических решений. Ее создание направлено на обнаружение водных объектов с нарушенными условиями экологической безопасности. Обнаружение нарушения одновременно означает наличие вреда окружающей среде в процессе хозяйственного освоения, что противоречит требованиям директивных органов.

**Ключевые слова:** аэромеханическое загрязнение, реперные водные объекты, отбор проб воды с помощью БПЛА, биомиметическая система.

## Введение

Потребности развития социально-экономического, оборонного и военного потенциала страны на длительную перспективу выдвинули на повестку дня проблему хозяйственного освоения богатейших запасов минерального сырья Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ). Оно должно осуществляться при соблюдении условия отсутствия вреда окружающей среде и направленного на его достижение требования использования на строящихся и модернизируемых предприятиях наилучших доступных природосберегающих производственных процессов и передовых технологий очистки сточных вод и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Выдвинутое положение имеет для АЗРФ принципиально важное значение. На ее территории осталось множество опасных объектов со времен предыдущих этапов промышленного освоения, представляющих угрозу окружающей среде и здоровью населения.

© Румянцев В. А., 2025

ния. Основную долю в них составляют заброшенные промышленные предприятия горнодобывающих и перерабатывающих отраслей, лесного и военно-промышленного комплексов и т. п., а также многочисленные отходы их деятельности [1]. Постановлением Правительства РФ «Об утверждении Правил организации ликвидации накопленного вреда окружающей среде» от 27 декабря 2023 г. № 2323 утверждены правила осуществления работ по организации и ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде, а Минприроды России по полученным от властей субъектов Федерации сведениям начало формировать государственный реестр опасных объектов.

Принятые регулирующие положения, направленные на наведение порядка в области природопользования, должны позволить в дальнейшем избежать подобных масштабных ситуаций с опасными отходами. Однако, хотя учет и ликвидация накопившихся последствий деятельности промышленных предприятий и являются очень важной, чрезвычайно

трудоемкой и затратной задачей [2], в целом это лишь видимая часть проблемы рационального природопользования в АЗРФ в условиях наличия опасных загрязняющих веществ. Другой, внешне менее заметной и неучтеннной указанными документами, является в научном плане значительно более сложная проблема с составляющими природной среды: воздушной, водной, растительной и почвенной, представляющими угрозу людям, животным и растительным сообществам [3]. Причина их опасности заключается главным образом в поступлении на территорию извне воздушным или водным путем избыточных количеств вредных загрязняющих веществ, приводящих к превышению ее аккумулирующей способности [3; 4]. Такие территории представляют серьезную опасность прежде всего для мигрирующих со стадами оленей малых коренных народов Севера, геолого-разведочных партий, воинских подразделений, экотуристов [4; 5] и т. д. Особое внимание следует уделять территориям, загрязненным супертоксикантами — стойкими органическими загрязнителями, несмотря на крайне низкие концентрации последних [6].

По существующему природоохранному законодательству установление контроля за отсутствием вреда окружающей среде и выявление опасных природных объектов являются задачей системы государственного мониторинга загрязнения окружающей среды Росгидромета, для которой она оказалась невыполнимой. Причина этого заключается в несоответствии существующего уровня системы мониторинга загрязнения окружающей среды предъявляемым к ней требованиям по качеству и полноте информации и числу пунктов наблюдений со стороны потребителей на современном этапе освоения Арктической зоны, что объясняется недопониманием роли мониторинга и обусловленным этим многолетним недостаточным финансированием. В странах с арктическими территориями (США и Канаде) учет состояния окружающей среды и ее возможных негативных изменений на основе данных мониторинга является одной из важнейших составляющих эколого-экономического баланса при стратегическом планировании освоения минеральных ресурсов, создания центров по переработке, увеличения добычи нефти<sup>1</sup>. Многие специалисты отсутствие в России системы мониторинга требующегося уровня признают одной из важнейших внутренних угроз успешному хозяйственному освоению АЗРФ.

При сформировавшемся в России положении и невозможности быстрого преобразования системы мониторинга актуальным стал вопрос создания менее затратных и более эффективных систем контроля окружающей среды. Решение этого вопроса требует существенного повышения наукоемкости создава-

емых систем и их целеполагания на решение поставленных конкретных задач. Ниже он рассматривается применительно к одной из важнейших составляющих природной среды — поверхностным пресным водам, влияющим на жизнедеятельность человека и социально-экономическое развитие регионов.

Особенностью Арктической зоны является то, что при огромных общих запасах поверхностных пресных вод подавляющая часть водных объектов относится к категории не охваченных наблюдениями малых рек и озер, для которых характерны слабая устойчивость к воздействиям природных и антропогенных факторов и низкая восстановительная способность [7]. Для них даже незначительные техногенные воздействия могут приводить к непоправимым последствиям.

Целью данной работы является создание инновационной системы контроля экологического состояния пресных вод российской Арктики, основанной на технологической платформе, обеспечивающей обратную связь с производительностью предприятий и откликом на нее качества воды и состояние водной экосистемы. Это позволит природоохранным органам в случае обнаружения нарушения условий экологической безопасности ставить вопрос о необходимости корректировки производственных планов промышленных организаций или модернизации очистных сооружений.

## Методы и материалы

Создаваемая технологическая платформа контроля экологического состояния пресных вод должна учитывать сложные природные условия Арктической зоны, ограниченные финансовые, кадровые, технические и коммуникационные возможности, а также стратегические планы хозяйственного освоения арктических регионов. Последние имеют большое значение, так как определяют уровень и характер антропогенной нагрузки на пресные воды, которая приводит к изменениям экологического состояния пресноводных объектов.

Согласно региональным планам хозяйственного освоения, на территории Арктической зоны предполагается развитие большого числа предприятий различных отраслей хозяйственной деятельности, среди которых наибольшую угрозу состоянию пресных вод представляют расширение существующих промышленных комплексов и создание в регионах новых сырьевых центров. Чтобы составить общее представление об угрозе окружающей среде, приведем отрывочные данные из стратегических планов освоения отдельных арктических регионов. В Мурманской области благодаря чрезвычайному богатству Кольского полуострова и финансовой поддержке развитие намеченных центров может происходить достаточно быстро, что требует существенного усиления контроля за их воздействием на пресные воды.

В Республике Карелия наибольшие перспективы в ближайшее время имеет освоение рудного поля

<sup>1</sup> National Strategy for the Arctic Region. 2022. The White House. Washington, 15 p.; Canadas Arctic and Northern Policy Framework 2019. Government of Canada. 86 p.

## Экология

Лобаш, объединяющего молибден-редкоземельное месторождение и примыкающее к нему золотое месторождение Лобаш. В Ненецком автономном округе стратегическими планами намечено развитие новых нефтяных и минерально-сырьевых центров: формирование газоконденсатных минерально-сырьевых центров на базе местных месторождений, в том числе разработка газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений.

Республика Коми имеет достаточно масштабные планы по развитию минерально-сырьевых центров на базе Печерского угольного бассейна, формированию и развитию нефтегазовых минерально-сырьевых центров на базе Тимено-Печерской нефтегазоносной провинции, созданию горно-металлургического комплекса по переработке титановых руд и кварцевых песков Пижемского месторождения, формированию Парнокского железомарганцевого минерально-сырьевого центра. В пределах Красноярского края планируются создание и развитие минерально-сырьевого центра на базе месторождения западного Таймыра, создание Западного Таймырского углепромышленного кластера, освоение ресурсов Североземельской золотоносной провинции, а также минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых Янского бассейна, в том числе золота, серебра и олова, разработку Красноярского месторождения углей и производство строительных материалов на базе месторождений Индигирского бассейна, развитие Зарянского угольно-минерального сырьевого центра.

Приведенные отрывочные материалы позволяют видеть широкую географию, разносторонний характер и достаточно высокие темпы промышленного освоения АЗРФ. С учетом сказанного становятся понятны невозможность в сложных арктических условиях использования принятых в практике мониторинга регламентированных подходов, методов и средств контроля и необходимость пересмотра работы природоохранных органов по организации системы мониторинга. Ниже рассматриваются методологические положения, на которых должна базироваться система контроля экологического состояния пресных вод Арктической зоны [8].

Первое важное положение вызвано тем, что по числу охваченных водных объектов и затронутых территорий доминирующим фактором воздействия на пресные воды является аэротехногенное загрязнение. Достаточно сказать, что только в Мурманской области в 2016 г. было более 4000 источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, 40% которых не имели очистных сооружений и стали причиной образования локальных экологических кризисов в ряде районов области [9]. Протяженность рассеивания воздушными потоками опасных загрязняющих веществ, выбрасываемых промышленными предприятиями, в подавляющем большинстве случаев выходит за пределы городов и населенных пунктов. Установление границ охваченной загрязне-

нием территории по указанной причине достаточно сложная задача, которая решается только с помощью расчетных методов. Теоретической основой для них служит приближенное решение трехмерного уравнения турбулентной диффузии, полученное при различных допущениях, касающихся характера выбросов из труб загрязняющих веществ, формы подстилающей поверхности и т. д. С середины прошлого века приближенные решения нашли широкое применение в метеорологической практике при рассмотрении важных социально-экологических задач — оценки загрязненности воздушной среды городов и населенных пунктов промышленными предприятиями, распространения парниковых газов как одной из возможных причин глобального потепления климата, трансграничного переноса и т. д.

Второе положение основывается на требовании директивных органов об использовании на создаваемых и модернизуемых промышленных предприятиях наилучших доступных природосберегающих производственных процессов и современных методов очистки сточных вод и выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Есть основания полагать, что при соблюдении этого требования в большинстве пресноводных объектов будет формироваться вялотекущий процесс хронического загрязнения, что позволяет отказаться от регламентированных системой мониторинга Росгидромета частых наблюдений во времени и пространстве. Возможность сокращения числа наблюдений позволит существенно уменьшить затраты на контроль экологического состояния арктических пресных вод.

Третье принципиальное положение обусловлено фактом нахождения на охваченных аэротехногенным загрязнением территориях групп малых водных объектов, не имеющих практического значения. В этой ситуации целесообразны отказ от их индивидуального рассмотрения и переход к площадным характеристикам, дающим обобщенное представление о состоянии группы водных объектов на определенной территории. Наиболее конструктивным в этом случае представляется районирование контролируемой территории по комплексу ландшафтно-гидрологических признаков с выбором в каждом условно однородном районе так называемого реперного водного объекта для последующего отбора на нем проб воды. Полученные данные анализа проб воды реперного объекта становятся площадной характеристикой состояния водных объектов всего условно однородного района на данный момент времени. Основанием для такого подхода служит апостериори установленный в результате многолетних гидрологических исследований в разных регионах страны факт идентичного в однородных физико-географических районах характера изменений состояния водных объектов под воздействием внешних факторов.

Последнее методологическое положение вызвано тем, что многие выбрасываемые предприятиями в воздушную среду химические соединения, попа-

дая в ходе рассеивания в водные объекты, приводят в них к формированию дисбаланса с превышением содержания одного или нескольких веществ, появлению различных негативных внутриводоемных процессов с проявлением биологической токсичности по отношению к составляющим экосистемы, ухудшением показателей их жизнедеятельности и ростом летальных исходов. Следствием развития таких процессов часто является нарушение в водном объекте условий экологической безопасности, в силу чего объект становится опасным для здоровья и жизни людей и представителей животного и растительного мира.

Вопрос экологической безопасности водных объектов является центральным в природоохранной деятельности России и зарубежных стран. Однако, в отличие от последних, в которых представление об экологической безопасности водных объектов требует длительного и дорогостоящего комплексного экологического исследования реакции всех звеньев трофической сети экосистемы на внешние воздействия, в России термин «экологическая безопасность» представляет собой самостоятельное правовое понятие, означающее отсутствие вреда здоровью и жизни людей и возможность их использования в питьевых, хозяйствственно-бытовых и рекреационный целях, а также ловли рыбы. Исходя из принятого в России правового понимания экологической безопасности, для установления факта ее нарушения достаточно обнаружить наличие в водном объекте токсичности воды. Решение о нарушении принимается по результатам реакции биообъектов на качество воды. В мировой практике водопользования широкое распространение при определении токсичности воды получил ветвистоусый ракоч *Daphnia magna*. Принимая во внимание избирательный характер воздействия токсикантов на различные живые организмы, его целесообразно дополнить легкокультивируемыми в лабораторных условиях биотестами типа *Chlorella vulgaris* и *Paramecium caudatum*.

Использование названных тест-объектов непосредственно в ходе контроля в реальных полевых условиях исключено, так как в каждом случае требуется наличие гидробиологической лаборатории с обеспечением жестко регламентированных условий жизни, кормления и размножения биотестов. Единственный возможный выход из тупиковой ситуации, вызванной необходимостью реакции биотестов и невозможностью выполнения этого требования, состоит в использовании в качестве «прослойки» так называемых биомиметических систем. Эти технические устройства являются в определенном смысле функциональными аналогами биологических организмов и водных экосистем, так как с высокой степенью достоверности воспроизводят их реакцию на внешние воздействия. По этой причине технические биомиметические системы получили название природоподобных.

Из изложенных методологических положений следует, что контроль экологического состояния пресных вод с помощью проектируемой технологической платформы носит сквозной характер и включает три звена последовательного решения следующих основополагающих задач:

- выявление пути рассеивания выбрасываемых предприятием в атмосферу опасных загрязняющих веществ и установление границ охваченной ими территории;
- переход к площадным оценкам путем районирования территории и выбор реперных водных объектов и возможных способов отбора на них проб воды;
- анализ проб воды с реперных водных объектов с применением природоподобной биомиметической системы и принятие заключения об экологическом статусе водных объектов.

### Результаты исследования

С 1 января 2018 г. в нашей стране введены в действие обновленные утвержденные приказом Минприроды России «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферу», разработанные Главной геодезической обсерваторией им. В. И. Воейкова с участием других организаций и основанные на использовании приближенного аналитического решения трехмерного уравнения турбулентной диффузии [10]. Методы позволяют рассчитывать поля максимальных разовых концентраций загрязняющих веществ, соответствующих сочетаниям неблагоприятных метеоусловий, а также средних концентраций за длительный период [11]. В отличие от России в зарубежных странах наибольшее применение получали модифицированные методы и модели расчета рассеивания загрязняющих веществ, основанные на приближенной трехмерной модели, разработанной D. B. Turner [12]. В ней распространение факела загрязнения в доминирующем горизонтальном направлении рассчитывается по одномерному уравнению турбулентной диффузии, а по ортогональным к нему осям задается нормальным (гауссовым) законом распределения вероятностей со своими дисперсиями. По этой причине указанную трехмерную модель часто называют гауссовой или дисперсионной. С точки зрения ее практического использования важно то, что в результате обобщения огромных объемов материалов специальных съемок рассеивания в воздушной среде загрязняющих веществ, выполненных с малым пространственным шагом, удалось построить зависимости для обеих дисперсий в виде функций расстояния от источников выбросов.

В Санкт-Петербургском научном центре РАН была опробована возможность использования отечественного подхода для оценки воздействия тепловых электростанций города и Ленинградской области, выбрасывающих в атмосферу оксиды серы, азота, углерода, а также сажу и мазутную жидкость,

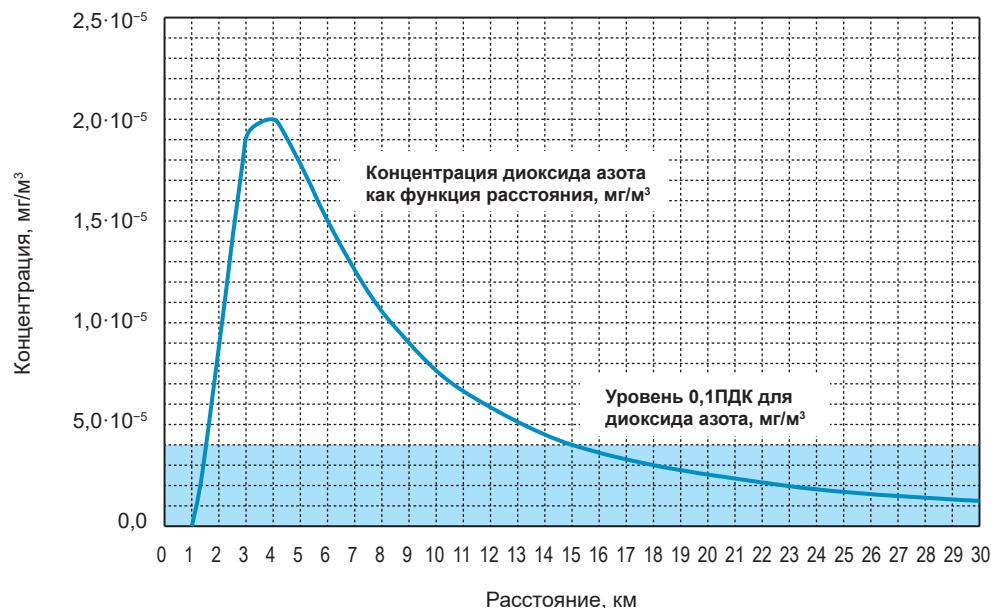


Рис. 1. Концентрация диоксида азота как функция расстояния

Fig. 1. Nitrogen dioxide concentration as distance function

на состояние водных объектов в восточной части Финского залива. Полученных материалов сопоставления рассчитанных данных с измеренными слишком мало для каких-либо обобщающих заключений. Вместе с тем один результат автору представляется достаточно убедительным и важным с позиции установления границ загрязненной территории. Если обратиться к рис. 1, то можно видеть, что рассеивание в воздушной среде оксида азота распространяется на расстояние свыше 60 км. При такой большой протяженности рассеивания и соответственно площади охваченной им территории контроль за подобным воздействием на пресные воды в Арктической зоне становится, с одной стороны, трудновыполнимым, с другой — ненужным на всей территории из-за несущественного воздействия на пресные воды загрязняющих веществ при очень низких концентрациях. Отсюда представляется разумным в контроле пресных вод ввести ограничение для учитываемых концентраций загрязняющих веществ нижним пределом значимости воздействия. С практической точки зрения наиболее приемлемым нижним пределом представляется величина 0,1 от значения предельно допустимой концентрации учитываемого при контроле загрязняющего вещества.

При введении указанного нижнего предела протяженность необходимого контроля за значимыми воздействиями на пресные воды сокращается в четыре раза и составляет примерно 15 км.

Следует подчеркнуть, что разнородный и пересеченный ландшафт арктических регионов может вступать в противоречие с положенным в основу приближенных решений допущением о ровной и однородной поверхности. Отсюда по мере удаленности пресных вод от источника загрязнения возможен

рост вероятности увеличения расхождений рассчитанных данных загрязненности с фактическими. Для ее снижения может потребоваться определенная корректировка расчетных методов. Для этого в некоторых арктических регионах желательно организовать специальные экспериментальные полигоны, включающие конкретные промышленные предприятия и загрязняемые ими пресноводные объекты.

Наличие в российской Арктике больших массивов заболоченных земель и других труднопроходимых территорий существенно осложняет, а нередко полностью исключает проведение наземных съемок на водных объектах. В этих условиях контроль пресноводных объектов может быть реализован только с помощью использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В настоящее время предлагается большое число тяжелых и легких БПЛА различных видов и типов, в частности самолетного вида с одним и двумя крыльями и вертолетного вида с горизонтальным и вертикальным взлетом. Все они предназначены для определенных целей и различаются дальностью, скоростью, высотой и маневренностью полета, требованиями к погодным условиям, а также грузоподъемностью, техническим оснащением, его размещением и т. п. Несомненно, в недалеком будущем летательные дроны займут важное место в предлагаемой технологии контроля пресных вод Арктической зоны. Их применение будет эффективным для выполнения двух видов работ. Во-первых, это осуществление необходимой аэрофотосъемки контролируемой территории для последующего ландшафтно-гидрологического районирования и выбора реперных водных объектов. Для этого могут использоваться БПЛА различных видов и типов, определяющей

будет пригодность оптической аппаратуры для съемок местности в неблагоприятных условиях арктических регионов, а также дальность и время беспосадочного полета аппарата. Во-вторых, применение автономных летательных аппаратов при контроле пресных вод необходимо в связи с недоступностью значительной части водных объектов. В подобной ситуации БПЛА становятся единственным возможным способом отбора проб с реперных водных объектов. Для этого требуется БПЛА вертолетного типа, который должен уметь садиться на водную поверхность либо зависеть над ней на небольшой высоте. Желательно также, чтобы он обладал достаточной устойчивостью к погодным условиям, дальностью полета и грузоподъемностью, позволяющими за один облет осуществлять отбор проб воды на всех реперных объектах и гарантировать их доставку. В России на сегодняшний день готовых для выполнения

указанных операций БПЛА нет. Создание такого аппарата предполагает объединение усилий специалистов по мониторингу поверхностных вод с конструкторами БПЛА, чтобы совместно найти наиболее подходящий вариант аппарата. В техническом отношении задача вполне решаема, и можно полагать, что после получения технических требований к БПЛА, обобщающих условия работы в различных арктических регионах, наличие специализированного для цели контроля аппарата через короткое время станет реальностью.

Об эффективности применения БПЛА при работе на водных объектах свидетельствует широкий опыт их использования в зарубежных странах [13]. Этот опыт для России полезен с точки зрения возможности решения различных научных и прикладных задач и применяемых для этого технологических решений, в том числе для контроля пресных вод Арктической зоны [14; 15].

Ввиду медленного течения процесса хронического загрязнения пресных вод отбор проб воды с реперных водных объектов достаточно осуществлять два раза в год: после схода льда и перед его установлением, а в отдельных случаях — в середине летнего сезона. Такой режим с сокращением числа наблюдений и состава показателей является одной из возможностей направить освободившиеся средства на более дееспособную систему контроля состояния пресных вод в АЗРФ по сравнению с системой мониторинга.

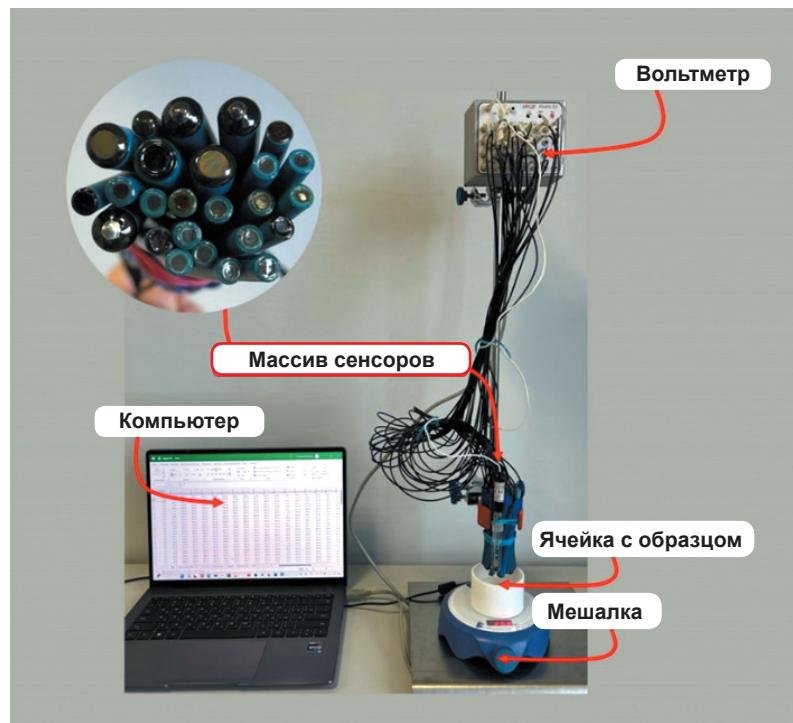


Рис. 2. Лабораторный вариант предлагаемой мультисенсорной потенциометрической системы

Fig. 2. Laboratory version of the proposed multisensor potentiometric system

Сегодня биомиметические системы получили широкое применение в различных отраслях хозяйственной деятельности, в том числе в пищевой промышленности, где они нередко называются «электронным языком» из-за использования их для проверки вкусовых качеств продуктов. В результате рассмотрения возможных вариантов биомиметических систем применительно к контролю состояния пресных вод АЗРФ предпочтение было отдано мультисенсорной потенциометрической системе, разработанной совместно сотрудниками Химического института Санкт-Петербургского государственного университета и компании ООО «Сенсорные системы», специально созданной для анализа водных сред. Система представляет собой аналитическое устройство, основой которого служит мультисенсор, состоящий из набора специально подобранных слабоселективных сенсоров, обладающих одновременно высокой перекрестной чувствительностью ко многим биологическим и химическим объектам и слабой избирательностью по отношению к каждому из них. Реакции электрохимических датчиков из набора мультисенсора поступают в многомерный вольтметр с высоким сопротивлением, оттуда в виде единого отклика передаются в персональный компьютер (рис. 2). В нем обработка отклика осуществляется с использованием подходов хемометрики и применением сформированного набора методов искусственного интеллекта (распознавание образов, нейронные сети, опорные вектора и т. п.) и неклас-

## Экология

ических методов многомерного статистического анализа. Достоинство компании ООО «Сенсорные системы» состоит в том, что она является разработчиком и единственным производителем свыше 500 образцов стабильно производимых сенсоров.

Для выявления нарушений пресноводными объектами требуется определение в полевых условиях интегральной токсичности воды, которое осуществляется в ходе анализа качества воды собранных проб с реперных водных объектов с помощью предложенной мультисенсорной потенциометрической системы [16; 17]. Центральным моментом для ее использования является предварительное установление калибровочных связей между реакциями на изменяющуюся токсичность воды биомиметической системы и выбранных биотестов [18; 19]. Полученное заключение об отсутствии или наличии вреда пресным водам по данным реперных водных объектов переносится на остальные водные объекты условно однородного района и становятся общей характеристикой территории ее обнаружения. Установленное в реальном масштабе времени заключение о неблагополучном состоянии водных объектов вместе с координатами их нахождения по линии связи должны передаваться местным органам власти для включения в муниципальный реестр накапленного экологического вреда. Оперативный характер предложенного подхода позволит уменьшить вероятность чрезвычайных ситуаций непредвиденных встреч людей с опасными для их жизни водными объектами.

### Выводы

Масштабное хозяйственное освоение Арктической зоны Российской Федерации, начатое при отсутствии требующейся информации о состоянии окружающей среды и отсутствии возможностей контроля негативных экологических последствий, свидетельствует о том, что рациональное природопользование не получило должного понимания, несмотря на документы директивных органов о повышении роли природной среды и необходимости применения сбалансированного эколого-экономического подхода при планировании социально-экономического развития регионов. Следствием такого недопонимания стало многолетнее постоянное недофинансирование работ по мониторингу окружающей среды.

Для ликвидации недопустимо большого разрыва между осуществляемым информационным обеспечением о состоянии природной среды и запросами хозяйствующих субъектов в 2004 г. была проведена реорганизация в области природопользования, и в составе Министерства природных ресурсов были созданы две новые федеральные структуры: Агентство водных ресурсов и Служба Росприроднадзора. Такая структура повторяет имеющееся в США децентрализованное распределение, где за мониторинг поверхностных вод и решение проблем водопользования и водопотребления ответствен-

ность несут два агентства — Геологическая служба США<sup>2</sup>, входящая одновременно научным подразделением в Министерство внутренних дел, и Агентство по охране окружающей среды<sup>3</sup>. Решение поставленных перед ними правительственные задач осуществляется очень эффективно на высоком научном и техническом уровне.

Выполненная в России формальная реорганизация без учета особенностей и возможностей страны не привела к предполагавшимся результатам, о чем свидетельствует современное положение системы мониторинга поверхностных вод. Необходимость дальнейшей реорганизации требует широкого обсуждения.

Одной из первоочередных задач развития мониторинга является создание возможности оценки вреда окружающей среде. Для этого предложено создать технологическую платформу экологического состояния пресных вод АЗРФ. Она позволит установить обратную связь между производительностью промышленных предприятий и реакцией на нее пресноводных объектов с возможными нарушениями условий экологической безопасности. Система основана на современных технических средствах — беспилотных летательных аппаратах и природоподобной биомиметической системе.

Перед тем, как рекомендовать предлагаемую систему контроля экологического состояния пресных вод на базе природоподобной платформы природоохранным органам, необходимо опробовать ее и отдельные звенья в арктическом регионе на базе промышленного предприятия с выбросом загрязняющих веществ в атмосферу. Разработан проект программы экспериментальных работ, который требует согласования с муниципальными и региональными органами власти.

### Финансирование

Работа написана за счет выполнения НИР по теме «Разработка системы научного мониторинга трансформации научно-инновационного пространства Санкт-Петербурга в контексте инновационного развития российской экономики с учетом теоретико-методологических основ устойчивого технологического развития региона на основе инновационно-инвестиционной деятельности и воспроизводства и формирования научно-образовательного потенциала Санкт-Петербурга» (FMRU-2024-0003).

### Литература/References

- Котова Е. И., Коробов В. Б., Павленко В. И. Экстремальные загрязнения на территории Арктической зоны Российской Федерации: случаи и анализ // Проблемы регион. экологии. — 2018. — № 1. — С. 67—72.

<sup>2</sup> <https://www.usgs.gov/about/about-us/who-we-are>, <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources>, <https://www.usgs.gov/programs/national-water-quality-program>.

<sup>3</sup> <https://www.epa.gov/national-aquatic-resource-surveys>.

- Kotova E. I., Korobov V. B., Pavlenko V. I. Extreme pollution in the Arctic zone: cases and analyses. Regional environmental issues, 2018, no. 1, pp. 64—72. (In Russian).
2. Ноговицын Р. Р., Васильева А. М. Обеспечение экологической безопасности в Арктической зоне Российской Федерации // Проблемы соврем. экономики. — 2018. — № 4 (68). — С. 203—205.
- Nogovitsyn P. P., Vasiljeva A. M. Ensuring the ecologic security in the Russian Federation (Yakutsk, Moscow). Problems of modern economics, 2018, no. 4 (68), pp. 203—205. (In Russian).
3. Кашулин Н. А., Денисов Д. Б., Валькова С. А. и др. Современные тенденции изменений пресноводных экосистем Евро-Арктического региона // Труды Кольского науч. центра РАН. — 2012. — № 2. — С. 7—54.
- Kashulin N. A., Denisov D. B., Valkova S. A., Vandysh O. I., Terentjev P. M. The modern tendencies of modification of fresh water ecosystems of the Euro-Arctic region, Trudy Kol'skogo Nauchnogo Tsentra of the Russian Academy of Sciences, 2012, vol. 1, no. 2, pp. 7—54. (In Russian).
4. Молчанов В. П., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Риски чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации. — М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2011. — 300 с.
- Molchanov V. P., Akimov V. A., Sokolov Yu. I. Risks of emergency situations in the Arctic zone of the Russian Federation. Moscow, FGBU VNII GOChS (FC), 2011, 300 p. (In Russian).
5. Ревич Б. А. Риски здоровью населения в «горячих точках» от химического загрязнения Арктического макрорегиона // Проблемы прогнозирования.—2020.—№(179).—С.148—155. Revich B. A. Health risks of the population in “hot spots” from chemical pollution of the Arctic microregion. Problems of forecasting, 2020, no. 2 (179), pp. 148—155. (In Russian).
6. Амирова З. К., Кулагин А. А. Стойкие органические соединения в атмосферном воздухе урбанизированных территорий России. — Уфа: БГПУ им. М. Акмуллы, 2017. — 224 с.
- Amirova Z. K., Kulagin A. A. Persistent organic compounds in the atmospheric air of urbanized territories of Russia. Ufa, BSPU named after M. Akmulla, 2017, 224 p. (In Russian).
7. Никаноров А. М., Брызгало В. А., Косменко Л. С., Даниленко А. О. Реки материковой части Российской Арктики. — Ростов н/Д: Юж. федер. ун-т, 2016. — 276 с.
- Nikanorov A. M., Bryzgalo V. A., Kosmenko L. S., Danilenko A. O. Rivers of the mainland part of the Russian Arctic. Rostov-on-Don, Southern Federal University, 2016, 276 p. (In Russian).
8. Румянцев В. А. Концептуальные и методологические подходы к организации системы контроля поверхностных вод Арктической зоны Российской Федерации // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2024. — Т. 70, № 2. — С. 210—221.
- Rumyantsev V. A. Conceptual and methodological approaches to organizing the surface water monitoring system of the Arctic zone of the Russian Federation. Problems of the Arctic and Antarctic, 2024, vol. 70, no. 2, pp. 210—221. (In Russian).
9. Никаноров А. М., Иванов В. В., Брызгало В. А. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. — Ростов н/Д: НОК, 2007. — 280 с.
- Nikanorov A. M., Ivanov V. V., Bryzgalo V. A. Rivers of the Russian Arctic under modern conditions of anthropogenic impact. Rostov-on-Don, NOC, 2007, 280 p. (In Russian).
10. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. — Л., 1975. — 448 с.
- Berlyand M. E. Modern Problems of Atmospheric Diffusion and Atmospheric Pollution. Leningrad, 1975, 448 p. (In Russian).
11. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. — Утв. приказом Минприроды России от 8 мая 2017 г. № 273.
- Methods for Calculating the Dispersion of Emissions of Harmful (Polluting) Substances in the Atmospheric Air. Approved by the order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated May 05, 2017 no. 273. (In Russian).
12. Turner D. B. Workbook of Atmospheric dispersion estimates. U.S. Department of Health, Education, and Welfare. [S. l.], 1970—1991, 84 p.
13. Koparan C., Koc A. B., Privette C. V., Sawyer C. B. In situ water quality monitoring using an unmanned aerial vehicle (UAV). System, 2018, 9 (4), 89 p.
14. Koparan C., Koc A. B., Privette C. V., Sawyer C. B., Sharp J. L. Autonomous in situ measurements of non-contaminant water quality indicators and sample collection with a UAV. Water, 2020, 12 (4), p. 1028.
15. Bonacci D., Brigante R. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Water Sampling: A Systematic Review. Water, 2022, 14 (19), p. 3071.
16. Власов Ю. Г., Легин А. В., Рудницкая А. М. Электронный язык — системы химических сенсоров для анализа водных сред // Рос. хим. журн. — 2008. — № 2. — С. 101—112.
- Vlasov Yu. G., Legin A. V., Rudnitskaya A. M. Electronic tongue — systems of chemical sensors for the analysis of aqueous media. Russian Chemical J., 2008, no. 2, pp. 101—112. (In Russian).
17. Задорожная О. А., Кирсанов Д. О., Власов Ю. Г. [и др.]. Определение интегральной токсичности воды в терминах биотестирования с помощью мультисенсорной системы, чувствительной к индивидуальным токсикантам // Журн. прикладной химии. — 2014. — Т. 87, № 4. — С. 416—423. — EDN FSAOXE.
- Zadorozhnaya O. A., Kirsanov D. O., Vlasov Y. G. [et al.] Determination of the integral toxicity of water in terms of biotesting with a multisensor system sensitive to individual toxicants. Russian J. of Applied Chemistry. — 2014. — Vol. 87, no. 4. — P. 412—418.

18. Kirsanov D., Legin E., Zagrebin A., Ignatieva N., Rybakin V., Legin A. Mimicking *Daphnia magna* bioassay performance by an electronic tongue for urban water quality control. *Analytica Chimica Acta*, 2014, 824, pp. 64—70.
19. Legin E., Zadorozhnaya O., Khaydukova M., Kirsanov D., Rybakin V., Zagrebin A., Ignatieva N., Ashina J., Sarkar S., Mukherjee S., Bhattacharyya N., Bandyopadhyay R., Legin A. Rapid evaluation of integral quality and safety of surface and waste waters by a multisensor system (electronic tongue). *Sensors* (Switzerland), 2019, 19 (9), paper # 2019. DOI: 10.3390/s19092019.

**Информация об авторе**

**Румянцев Владислав Александрович**, доктор географических наук, академик РАН, главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский научный центр РАН (199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 5), e-mail: rum.ran@mail.ru.

---

## PROSPECTS FOR CREATING A NATURE-LIKE TECHNOLOGICAL PLATFORM TO MONITOR THE ECOLOGICAL STATE OF FRESHWATER IN THE RUSSIAN ARCTIC

**Rumyantsev, V. A.**

Saint-Petersburg Research Center of the Russian Academy of Science (Saint-Petersburg, Russian Federation)

**For citing**

Rumyantsev V. A. Prospects for creating a nature-like technological platform to monitor the ecological state of freshwater in the Russian Arctic. *Arctic: Ecology and Economy*, 2025, vol. 15, no. 4, pp. 558—566. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-4-558-566. (In Russian).

The article was received on July 10, 2025

**Abstract**

A concept has been developed to create a technological platform for end-to-end monitoring of aerotechnogenic pollution of fresh waters in the Arctic zone of the Russian Federation. It is based on the results of many years of scientific research and the capabilities of modern technical means and technological solutions. Its creation is aimed at detecting water bodies with violated environmental safety conditions. Detection of a violation simultaneously means the presence of harm to the environment in the process of economic development, which contradicts the requirements of regulatory bodies.

**Keywords:** Aerotechnogenic pollution, reference water bodies, water sampling using UAVs, biomimetic system.

**Funding**

The paper was prepared in the framework of the research work on the topic “Development of a system of scientific monitoring of the transformation of the scientific and innovative space of St. Petersburg in the context of innovative development of the Russian economy taking into account the theoretical and methodological foundations of sustainable technological development of the region based on innovation and investment activities and the reproduction and formation of the scientific and educational potential of St. Petersburg” (FMRU-2024-0003).

**Information about the author**

**Rumyantsev, Vladislav Aleksandrovich**, Doctor of Geographical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (5, Universitetskaya Emb., St. Petersburg, Russia, 199034), e-mail, rum.ran@mail.ru.

© Rumyantsev V.A., 2025