Экология человека | Ekologiya cheloveka (Human Ecology)
ОБЗОР | REVIEW
DOI: https://doi.org/10.17816/humeco690078
EDN: YHTDQI

Современные научные и методические подходы к мониторингу водных объектов и сточных вод: научный обзор

О.В. Киёк[1], А.Н. Редько[1], Э.Ю. Енина[1], А.С. Круподер[1], А.П. Богдан[1]
[1] Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия

АННОТАЦИЯ

Проблема экологической безопасности водных объектов, обеспечения населения доброкачественной питьевой водой, а также проблема сточных вод, являющихся значительными антропогенными загрязнителями водных объектов, определили целью нашего исследования научный обзор литературы, освещающей различные научные и методические подходы к мониторингу водных объектов и сточных вод. Поиск научных публикаций по теме проводили в базе данных медицинских и биологических исследований PubMed, научной электронной библиотеке eLibrary и на официальных сайтах научных журналов, содержащих тематические рубрики по изучаемым вопросам. Глубина исследования составила 15 лет. Несмотря на наличие достаточного количества исследований, указывающих на преимущество автоматизированной системы мониторинга, пусть и весьма дорогостоящей, но позволяющей в режиме реального времени контролировать водные объекты, в системе государственного мониторинга для оценки качества воды применяются традиционные методы исследования, отличающиеся сложностью, затратами на обслуживание дорогостоящего лабораторного оборудования, использованием химических реактивов, требующие большего времени на проведение исследования и неэффективные для мониторинга на месте и в режиме реального времени. В этих условиях создание единой системы автоматизированного мониторинга эколого-гигиенического состояния водных сред, качества очистки сточных вод позволит вывести на новый качественный уровень охрану водных объектов, что станет залогом снабжения населения не только доброкачественной питьевой водой, но и обеспечит оптимальное использование воды в санаторно-курортных зонах и зонах рекреаций.
При этом для обеспечения единого комплексного подхода, позволяющего выявлять в режиме реального времени места, источники и степень загрязнения водных объектов с картированием их эколого-гигиенического состояния, необходимо принятие решений на законодательном уровне.

Ключевые слова: водные объекты; сточные воды; эколого-гигиеническая оценка воды; автоматизированные системы; мониторинг; обзор.

Как цитировать:
Киёк О.В., Редько А.Н., Енина Э.Ю., Круподер А.С., Богдан А.П. Современные научные и методические подходы к мониторингу водных объектов и сточных вод: научный обзор // Экология человека. 2025. Т. 32, № 9. С. XX–XX. DOI: 10.17816/humeco690078 EDN: YHTDQI

Рукопись поступила: 03.09.2025
Рукопись одобрена: 23.09.2025
Опубликована online: 02.10.2025

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Эко-Вектор, 2025

Modern Scientific and Methodological Approaches to Monitoring Water Bodies and Wastewater: A Scientific Review

Olga V. Kiyok[1], Andrey N. Redko[1], Ella Yu. Enina[1], Anna S. Krupoder[1], Alexander P. Bogdan[1]
[1] Kuban State Medical University, Krasnodar, Russia

ABSTRACT

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

The problem of environmental safety of water bodies, providing the population with high-quality drinking water, as well as the problem of wastewater, which is a significant anthropogenic pollutant of water bodies, determined the purpose of our research to be a scientific review of literature that covers various scientific and methodological approaches to monitoring water bodies and wastewater. The search for scientific publications on the topic was conducted in the PubMed database of medical and biological research, the eLIBRARY scientific electronic library, and on the official websites of scientific journals that contain thematic sections on the issues being studied. The depth of the study is 15 years. Despite the existence of sufficient research indicating the advantage of an automated monitoring system, albeit a very expensive one, which allows a real-time monitoring of water bodies, the state monitoring system uses traditional research methods for assessing water quality. These methods are complex, require the maintenance of expensive laboratory equipment, use chemical reagents, and take longer to complete. They are also ineffective for on-site and real-time monitoring. In these conditions, the creation of a unified system for automated monitoring of the ecological and hygienic state of water environments and the quality of wastewater treatment will allow the protection of water bodies to be brought to a new level of quality, which will ensure that the population is provided with not only high-quality drinking water, but also optimal use of water in sanatorium and recreational areas. In order to ensure a unified comprehensive approach that allows for real-time identification of locations, sources, and levels of water pollution, as well as mapping their ecological and hygienic conditions, legislative decisions are necessary.

Keywords: water bodies; wastewater; ecological and hygienic assessment of water; automated systems; monitoring; review.

TO CITE THIS ARTICLE:

Kiyok OV, Redko AN, Enina EYu, Krupoder AS, Bogdan AP. Modern Scientific and Methodological Approaches to Monitoring Water Bodies and Wastewater: A Scientific Review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2025;32(9):XX–XX. DOI: 10.17816/humeco690078 EDN: YHTDQI

Received: 03.09.2025
Accepted: 23.09.2025
Published online: 02.10.2025

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Eco-Vector, 2025

Accepted for publication

ОБОСНОВАНИЕ

Государственная политика в области охраны окружающей среды в Российской Федерации обеспечивается не только рядом законодательных актов, но и созданной единой системой государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), частью которой является система государственного мониторинга водных объектов[1,2,3,4,5]. Согласно Указу Президента РФ[6], одной из национальных целей развития страны определено

[1] Федеральный закон № 7-ФЗ от 10 января 2002 г. «Об охране окружающей среды». Режим доступа: https://base.garant.ru/12125350/ Дата обращения: 26.08.2025.

[2] Постановление Правительства РФ № 477 от 6 июня 2013 г. «Об осуществлении государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды». Режим доступа: https://base.garant.ru/70393142/ Дата обращения: 26.08.2025.

[3] Постановление Правительства РФ № 300 от 14 марта 2024 г. «Об утверждении Положения о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды)» Режим доступа: https://base.garant.ru/408714115/ Дата обращения: 26.08.2025.

[4] Водный кодекс Российской Федерации № 74-ФЗ от 3 июня 2006 г. Режим доступа: https://base.garant.ru/12147594/ Дата обращения: 26.08.2025.

[5] Постановление Правительства РФ № 219 от 10 апреля 2007 г. «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов». Режим доступа: https://base.garant.ru/2162365/ Дата обращения: 26.08.2025.

[6] Указ Президента РФ № 309 от 07 мая 2024 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года». Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408892634/ Дата обращения: 26.08.2025.

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

экологическое благополучие. В рамках одноимённого национального проекта[7] с 1 января 2025 г. по 31 декабря 2030 г. реализуется федеральный проект «Вода России», показателями которого являются «снижение к 2036 г. в 2 раза объёма неочищенных сточных вод, сбрасываемых в водные объекты» и «в связи с экологическим оздоровлением водных объектов к концу 2030 г. будут обеспечены комфортные условия для жизни вблизи водных объектов для 23,2 млн человек». С 2023 г. и по настоящее время в рамках федерального проекта «Чистая вода» функционирует «Интерактивная карта контроля качества питьевой воды в Российской Федерации» (https://питьеваявода.рус) — электронный ресурс, где каждый может проверить качество питьевой воды непосредственно в месте проживания или пребывания и сообщить в Роспотребнадзор о ненадлежащем её качестве. В данную интерактивную карту, картографической основой которой является электронная карта территории России с делением до населённого пункта, регулярно вносят результаты мониторинговых лабораторно-инструментальных исследований, а также лабораторно-инструментальных исследований в рамках контрольно-надзорных мероприятий, осуществляемых Центрами гигиены и эпидемиологии в субъектах Российской Федерации. Эколого-гигиеническое состояние водных объектов важно не только для обеспечения населения доброкачественной питьевой водой, но и для оптимального использования поверхностных водных объектов в санаторно-курортных и рекреационных зонах, а также в рыбохозяйственной промышленности. Проблема экологической безопасности водных объектов, обеспечения населения доброкачественной питьевой водой, а также проблема сточных вод, являющихся значительными антропогенными загрязнителями водных объектов, определили целью нашего исследования научный обзор литературы, освещающей различные научные и методические подходы к мониторингу водных объектов и сточных вод. Поиск научных публикаций по теме проводили в базе данных медицинских и биологических исследований PubMed, научной электронной библиотеке eLibrary и на официальных сайтах научных журналов, содержащих тематические рубрики по изучаемым вопросам.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ В МОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.М. Панарин и соавт. [1, 2] представили разработанную автономную систему дистанционного мониторинга загрязняющих веществ (ЗВ) в контролируемых створах предприятия для измерения загрязнений водных объектов, представляющую собой часть автоматизированной системы экологического мониторинга. Структура системы представлена модулем сбора и обработки информации, модулем измерений, задатчиком траектории движения, блоком формирования траектории движения, блоками измерения физических и химических свойств воды, блоком хранения координат модуля и свойств воды. Модульный принцип обеспечивает гибкий набор датчиков и сенсоров, представленный постоянным комплектом (для измерения электропроводности, солесодержания, температуры, pH) и сменным комплектом (для обнаружения специфических ЗВ). Данная система определяет координаты нахождения автономного мониторингового модуля поверхностных водных объектов в автоматическом режиме по заданной траектории по точкам отбора проб для измерения загрязнения водных объектов и обрабатывает технологические параметры с последующей передачей данных в госреестр источников негативного воздействия на окружающую среду. О.П. Авандеева и соавт. [3] разработали устройство, осуществляющее автоматический сбор и идентификацию загрязнения ЗВ поверхностных водных объектов с последующей сигнализацией в случае превышения предельно допустимой концентрации (ПДК). Данный подход позволяет своевременно принимать управленческие решения. О.И. Абрамовым и соавт. [4] создан комплекс экологического мониторинга водных объектов с многоволновым лидаром, расположенным в водонепроницаемом контейнере и установленным на компактной плавающей платформе в виде катамарана на металлических понтонах. М.А. Ширяева и соавт. [5] для обнаружения источников сброса ЗВ в водные объекты предложили методику проведения замеров скоростей течения и построение эпюр расходов воды на водотоках с использованием беспилотного надводного аппарата авторской разработки и датчика расхода воды с хвостовым оперением и плагином для расчёта скорости течения, способного крепиться к якорному тросу беспилотного аппарата для его устойчивости на определённой вертикали и глубине. Информация поступает на электронный носитель или непосредственно к оператору для определения расходов воды и

[7] Национальный проект «Экологическое благополучие». Режим доступа: http://government.ru/rugovclassifier/919/about/ Дата обращения: 26.08.2025.

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX
построения эпюр в автоматизированном режиме. Разработчиками создана также нейросеть для прогноза движения, тепломассопередачи и распространения ЗВ водных объектов. Как отмечают авторы, для обнаружения источника сброса ЗВ контрольные створы для замеров расходов воды можно размещать хаотично, что при выявлении разницы в расходах позволит более точно определить местоположение «несанкционированного» водопользователя. Е.Л. Счастливцев и соавт. [6] описывают разработанную для систематизации и анализа собранного большого объёма мониторинговых и пространственных данных по водным ресурсам Кемеровской области информационно-аналитическую систему геоэкологического мониторинга водных ресурсов «Водные ресурсы», в которой содержится информация о разных типах вод (поверхностные, подземные, талые, шахтные и т.д.), разработаны алгоритмы их анализа и оценки. Данные по водным ресурсам отображаются в системе в виде дерева: 1-й уровень — точки отбора проб, привязанные к водным объектам; 2-й — протоколы анализа с датами; последний — концентрации по ЗВ. В систему внедрён алгоритм оценки качества поверхностных и подземных вод по ассоциативным показателям. В труде Т.А. Маркиной и соавт. [7] представлена методика экологического мониторинга родников Саратова на основе геоинформационного моделирования, посредством которой возможно прогнозировать протекающие в родниках процессы и оценивать степень нагрузки, вызванной деятельностью человека. Разработаны модели движения водных потоков родников, фильтрации снега и дождя, проникновения загрязнений и алгоритмы прогнозирования состояния родниковых систем на основании результатов экологического мониторинга. Инструментом геоинформационного моделирования послужила система Matlab, где для представления данных анализа химико-аналитических, микробиологических, гидрогеологических, геоморфологических исследований авторами сформирован комплекс программ «Родник-eko». Вначале осуществляли векторизацию растровых карт с последующим их наложением на рельеф для картографической визуализации. Ф.А. Мкртчян и соавт. [8] разработали экспертную систему для автоматизации гидрофизических исследований с целью получения оперативной информации о физико-химических характеристиках водных объектов различного типа, оснащённую алгоритмами идентификации загрязнителей водной среды по измерениям их спектральных образов. В работе представлен алгоритм обучения и распознавания спектральных образов водных объектов. Интерес среди исследователей вызывает также проблема фекального загрязнения воды [9, 10]. J.F. Bergua et al. [9] разработали устройство для латерального анализа воды на фекальное загрязнение. Колориметрические тест-полоски для анализа методом латерального потока (LFS) позволяют обнаруживать и количественно определять *E. coli* в пробах водопроводной, речной и канализационной воды в качестве индикатора фекального загрязнения. Сочетание LFS с простым устройством для фильтрации воды и коммерчески доступным колориметрическим считывающим устройством повысило чувствительность анализа и позволило более точно определять концентрацию бактерий вплоть до 10^4 КОЕ мл$^{-1}$ за 10 мин. Данный метод, по оценкам авторов, поможет сделать процесс мониторинга качества воды более быстрым и дешёвым и проложить путь к дальнейшему совершенствованию систем обнаружения фекальных загрязнений. J.R. Willis et al. [10] представили результаты оценки эффективности количественной ПЦР с использованием стандартного эталонного материала 2917 Национального института стандартов и технологий (NIST SRM® 2917) — линеаризованной плазмидной ДНК-конструкции, которая используется в 13 анализах качества воды для рекреационных целей методом количественной ПЦР. Результаты показали, что NIST SRM® 2917 подходит для всех методов количественной ПЦР, и позволили авторам предположить, что в будущем использование этого контрольного материала учёными и специалистами по контролю качества воды поможет снизить вариативность оценок концентрации и сделать результаты более сопоставимыми между лабораториями. В систематическом обзоре S.N. Zainurin et al. [11] рассматривают традиционные и современные методы мониторинга качества воды, такие как интернет вещей, виртуальное зондирование, киберфизические системы, оптические методы в ряде стран Юго-Восточной, Южной и Восточной Азии и Полинезии. Удачное сочетание физических и вычислительных алгоритмов в киберфизических системах обеспечивает оптимальный мониторинг качества воды. Авторы отмечают, что традиционные методы сложные и дорогостоящие из-за затрат большего количества времени и средств из-за большой стоимости обслуживания лабораторного оборудования, использования химических материалов и неэффективны для мониторинга на месте, в то время как современные методы хоть и дорогостоящие, но более простые и позволяют проводить анализ в режиме реального времени. H. Zhang et al. [12] в своём исследовании объединили 15 физико-химических параметров с 12 социально-экономическими параметрами в рамках многомерной статистики для количественной оценки потенциальных источников загрязнения и их влияния на загрязнение речной воды. Многомерная статистика включала регрессионный анализ, анализ главных

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX
компонент и множественную линейную регрессию с абсолютными значениями главных компонент. Расчёт вклада источников в APCS-MLR показал, что на промышленные и сельские сточные воды в среднем приходится 35,68 и 25,08% загрязнения соответственно, за ними следуют городские сточные воды (18,73%) и загрязнение фитопланктоном (15,13%), при этом доля неустановленных источников относительно невелика. Сделан вывод о том, что социально-экономические параметры, дополняющие гидрохимические в многомерной статистике, могут повысить точность и достоверность определения источника загрязнения, помогая лицам, принимающим решения, разрабатывать стратегии по защите качества речной воды. O. Kanoun et al. [13] представили обзор электрохимических датчиков, модифицированных нанокомпозитами, для определения содержания в воде нитритов, нитратов, пестицидов, фосфатов, жёсткости воды, дезинфицирующих средств и некоторых новых поллютантов (фенол, эстроген, галловая кислота и т.д.). Авторы утверждают, что за последние 5 лет большая часть рассмотренных датчиков показала свою пригодность для реального применения с точки зрения чувствительности и результатов тестов на помехи. Сочетание данного вида датчиков с новыми наноматериалами позволяет эффективно обнаруживать несколько неизвестных и не поддающихся количественному определению ЗВ. Однако электрохимические датчики, как правило, не обладают высокой специфичностью из-за того, что некоторые соединения, подвергающиеся электрохимической трансформации в пределах аналитического потенциала, могут мешать определению исследуемого аналита. В то же время это может быть преимуществом при обнаружении нескольких ионов/молекул. Однако отмечается, что электрохимические датчики в основном тестируются в контролируемой лабораторной среде и только немногие из доступных в настоящее время датчиков используются для измерений на месте или в полевых условиях. Аналогичная ситуация, по словам авторов, наблюдается с датчиками на основе наноматериалов, которые нечасто тестируются в естественной среде, например, в морской воде. Поэтому исследователи выделяют несколько перспективных направлений и нерешённых задач в этой области, такие как недостаток электрохимических датчиков для применения в полевых условиях, стабильность в реальном времени и возможность повторного использования, масштабное и недорогое производство. I. Yaroshenko et al. [14] представили критическую оценку последних достижений в области мониторинга качества воды в режиме реального времени. Так, они описывают применение мобильных станций химического анализа, систем мониторинга качества воды, биосенсоров и оптических датчиков, биомиметических систем, функциональных датчиков электромагнитных волн и дают характеристику новым тенденциям в мониторинге качества воды. По заключению авторов, по-прежнему существует множество препятствий на пути к созданию универсального подхода к мониторингу, который подходил бы для различных ситуаций. Отмечается, что наиболее успешны системы, основанные на химическом анализе или его комбинации с другими методами. Полимеры с молекулярными отпечатками обеспечивают повышенную гибкость при разработке таких систем. Т.Б. Фащевская и соавт. [15] описывают применение полураспределённой физико-математической модели ECOMAG-HM, представленной гидрологическим и гидрохимическим блоками, для моделирования генетической структуры водного и химического стока Cu, Zn и Mn в крупном речном бассейне Нижнекамского водохранилища.

В аналитическом обзоре А.С. Калюжина и соавт. [16] приводится пример применения геоинформационной системы (ГИС) как инструмента санитарно-гигиенического контроля водных ресурсов в формате ФИФ СГМ в структурном подразделении социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора Российской Федерации[8]. Авторы отмечают, что в настоящий момент в некоторых ведомствах нет стандартизованных требований к геоинформационным программам и при применении разных программ возрастает время на обработку полученных данных, поэтому создание единой ГИС в Российской Федерации невозможно до тех пор, пока не будут приняты единые нормативные документы, которые унифицировали бы преемственность этой системы различными ведомствами. В статье также приведены сведения о том, что во ФБУН «РостовНИИ микробиологии и паразитологии» Роспотребнадзора в рамках научно-исследовательской работы создан алгоритм принятия решения на основе ГИС для недопущения распространения водообусловленных инфекций, который станет основой программы для ЭВМ по оценке микробного риска здоровью населения, ассоциированных с водным фактором.

ДИФФУЗНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ОРГАНИЗАЦИЯ ЕГО

[8] Федеральный информационный фонд СГМ. Система наблюдения, анализа и оценки состояния здоровья населения и среды обитания человека. Режим доступа: https://fcgie.ru/fif_sgm.html. Дата обращения: 26.08.2025.

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

МОНИТОРИНГА. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЕДЕНИЮ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Вопросы диффузного загрязнения водных объектов, в прошлом остающиеся без внимания, в настоящее время являются весьма актуальными для экологии и требуют мониторинга [17–22]. С.А. Манжина, Ю.Е. Домашенко [17] указывают на практический мировой опыт при мониторинге диффузионных загрязнений, который заключается в выделении загрязнений от организованных и неорганизованных источников в два этапа: выявлении масштабов диффузионного загрязнения с последующим количественным определением с идентификацией источников поступления ЗВ и условий, их вызывающих. Для организации возможности прогноза последствий поверхностного стока и моделирования условий организации и планов использования обследуемых территорий отмечается необходимость формирования базы коэффициентов стока для территорий с различными характеристиками. Авторы отмечают, что до настоящего момента (2020 г.) уровень диффузного загрязнения водных объектов в Российской Федерации определяли массовым методом, но в последнее время стал актуальным контроль отдельных неорганизованных источников загрязнений. А.В. Слабунова и соавт. [18], проанализировав систему государственного экологического мониторинга и государственного мониторинга водных объектов, обнаружили проблемы, которые не позволяют при его проведении осуществлять достоверную оценку диффузного загрязнения водных объектов. Авторы пришли к выводу, что действующая система мониторинга направлена в основном на контроль качества воды на промышленно-урбанизированных территориях, которым присущи точечные виды источников загрязнений с относительно устойчивой пространственно-временной интенсивностью. Решение обнаруженных проблем исследователи видят в организации и проведении специальных работ в характерные гидрологические сезоны — половодье и паводки, в особенности в их ветви подъёма, в рамках государственного мониторинга водных объектов. С.В. Ясинский и соавт. [20] отмечают, что наиболее остро проблема диффузного загрязнения большим спектром ЗВ стоит в городах. Отмечается, что данный вид загрязнения водных объектов не регистрируется и не регулируется государственными водохозяйственными или природоохранными ведомствами, что, по мнению авторов, связано с неопределённостью «потребителя» диффузного стока, сложностью его мониторинга, недостаточным пониманием его важной роли в загрязнении водных объектов. В исследовании представлен обзор отечественных и зарубежных моделей, применяемых для расчёта выноса ЗВ в водные объекты с использованием ГИС-технологий и баз данных. В труде Н.В. Кирпичниковой [21], посвящённом проблемам организации мониторинга неконтролируемых источников загрязнения на водосборах водных объектов, говорится о необходимости для идентификации таких источников загрязнения специального мониторинга для каждого фрагмента водосбора. Автором разработан специальный мониторинг для фрагментов водосбора Иваньковского водохранилища (территории городов, промышленных площадок, сельскохозяйственных территорий), состоящий из нескольких этапов, проводимых в определённые периоды времени года с определённой кратностью и продолжительностью отбора проб воды, оценкой общего объёма водного стока и массовых значений ЗВ, определением модулей поверхностного смыва с единицы площади. Отмечается, что дальнейшее сопоставление с массой загрязнений, поступающих от контролируемых источников, может быть основой для разработки бассейновых водоохранных мероприятий. Н.А. Сидорова и В.М. Калинин [22] разработали методические подходы к организации мониторинга диффузного загрязнения водных объектов на территории нефтепромыслов. По мнению авторов, к оценке загрязнения поверхностных вод необходимо применять ландшафтно-гидрологический подход, выделять на водосборе стоковоформирующие комплексы с размещением на них стоковых площадок, причём последние нужно организовывать также в месте аварий или при обнаружении нефтезагрязнённых земель. Отмечается необходимость размещать проектируемые стоковые площадки как на контрольном водосборе, так и на фоновом, выбирая в качестве фонового водосбор без следов антропогенной деятельности.

Ю.А. Прохоров и соавт. [23] предложили принципы ведения регионального мониторинга поверхностных водных объектов, основанные на объединении требований государственного мониторинга в рамках полномочий субъекта Российской Федерации с потребностями региона в информации об антропогенном загрязнении. Данный подход, по оценкам авторов, позволит вместе с оценкой общего состояния водоёмов выделить антропогенную составляющую загрязнений. Разработанная авторами двухуровневая система оценки качества воды включила оценку общего загрязнения по 15 обязательным показателям и оценку антропогенной составляющей по шести наиболее значимым региональным показателям. К.Ю. Кузнецова [24] в своей работе, посвящённой оптимизации методов государственного мониторинга водных объектов по паразитологическим

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

показателям, отмечает недочёты в формировании статистического учёта паразитологических показателей безопасности вод водоисточников в системах СГМ и гидробиологического мониторингов.

И.В. Тимощук и соавт. [25] представили исследования, направленные на выбор контролируемых гидрохимических параметров и разработанную программу поэтапного мониторинга состояния водных объектов, подверженных техногенному воздействию вследствие угледобычи. Предложенная программа мониторинга представила собой 2 этапа: 1-й — мониторинг состояния поверхностных и сточных вод в период эксплуатации объекта; 2-й — мониторинг после прекращения эксплуатации объекта.

МОНИТОРИНГ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Мониторинг экологического состояния водных объектов, обнаружение источников их загрязнений осуществляются также с использованием данных со спутников дистанционного зондирования Земли из космоса [26–28]. По данным С.С. Тимофеевой [26], он включает в себя предварительную обработку космических снимков и их автоматизированное дешифрирование. Анализ гиперспектральных и мультиспектральных снимков позволяет хорошо определять и численно измерять объёмы механических взвесей и биогенных элементов. На серии данного вида снимков, путём изучения изменений их спектральных характеристик возможно определить наличие и стадию процесса эвтрофирования водоёма. Е.Г. Мещанинова и Н.О. Ахромеева [27] считают данный метод одним из эффективных методов мониторинга водных объектов, преимущества которого — актуальность получаемых на момент съёмки данных, детальность, большая точность обработки, возможность одновременно охватить большую площадь акватории водного объекта, непрерывность информационного содержания снимка для каждой точки изображения, высокая периодичность регистрации состояния воды и прибрежных территорий. Главным ограничением использования снимков для мониторинга водных объектов, по мнению авторов, может стать их низкое разрешение из-за невозможности отслеживания в таком случае незначительных по масштабам изменений состояния водоёмов. Авторы обработали и проанализировали космические снимки Цимлянского водохранилища Ростовской области, выявили участки водохранилища в районе Волгодонска с высокой антропогенной нагрузкой, совпавшие с расположением стоков ливневой канализации, провели картирование загрязнителей с расчётом экологического риска последующего загрязнения. Было установлено, что приоритетными ЗВ исследованного водохранилища являются сульфаты и марганец. По данным Д.В. Кочева и соавт. [28], получение и совместный пространственный анализ данных нескольких систем дистанционного зондирования Земли позволяет получать космические снимки территории с небольшими временными интервалами, благодаря чему за счёт анализа спутниковых данных можно предварительно сообщать о приближающемся пятне загрязнений и исследовать возможные источники загрязнения на территории сопредельного государства, обычно недоступные для анализа. Государственной корпорацией по космической деятельности «Роскосмос»[9] разработана программа для ЭВМ, предназначенная для информационного обеспечения мониторинга состояния природных ресурсов, а именно обеспечения на основе данных дистанционного зондирования Земли мониторинга водных объектов (состояние водоохранных зон, загрязнение акваторий водных объектов, изменение гидрологического режима), экологического мониторинга лесов и мониторинга состояния земель.

МОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В научном труде Г.Ю. Толкачев и соавт. [29] представляют результаты исследования водных объектов Верхней Волги (оз. Селигер, участок Верхней Волги, Иваньковское и Угличское водохранилища) на содержание тяжёлых металлов (Cr, Co, Ni, Zn, Cd, Pb, As, Fe и Mn) в донных отложениях (ДО), являющихся индикатором уровня техногенного воздействия на водные объекты. Для определения концентраций тяжёлых металлов применялся метод ICP, Cd — метод атомной адсорбции после разложения пробы в «царской водке». Метод А. Тессье использовался при

[9] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617441 Российская Федерация. Информационное обеспечение мониторинга экологического состояния компонентов окружающей среды. Российская Федерация, от имени которой выступает Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос». Заявл. 11.05.2018: опубл. 25.06.2018. Бюл. № 7. EDN: LENXLI

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX
изучении распределения элементов по формам их нахождения в ДО. В результате исследования установлено, что наибольшим загрязнителем ДО оз. Селигер являлся хром, другие изученные тяжёлые металлы в озере не являлись опасными. Загрязнение тяжёлыми металлами ДО Верхней Волги превышало фон незначительно. В Иваньковском водохранилище отмечались наибольшие уровни загрязнения ДО Cd и Pb, которые не превышали «умеренно загрязнённый» уровень и о серьёзной опасности вторичного загрязнения данными элементами говорить не приходилось. Во всех точках отбора проб ДО Угличского водохранилища регистрировалось превышение концентраций Cd и Zn над фоновыми уровнями. Согласно данным Т.О. Барабашина и соавт. [30], проводили определение ЗВ высокоинформативными аналитическими методами (высокоэффективной жидкостной и газовой хроматографией, тонкослойной хроматографией, хромато-масс-спектрометрией, спектроскопией и спектрометрией в различных диапазонах) и установили по критериям экологической опасности, что приоритетными ЗВ Азово-Черноморского бассейна являются тяжёлые металлы, мышьяк, ПАУ, нефтепродукты, пестициды и полихлорированные бифенилы, СПАВ и фенолы. К.Р. Багманов и Д.Е. Шамаев [31] из Эколого-технологического лицея № 79 Казани представили разработанные алгоритмы определения типа ДО и расчёта коэффициентов их загрязнённости нефтепродуктами, внедрённые в базовую версию Auto_KZ (Максимова Н., 2023), которые также возможно интегрировать в программное обеспечение органов государственного экологического мониторинга на региональном уровне. Разработка авторов дала возможность получить показатели загрязнённости разных типов ДО кислоторастворимыми и подвижными формами тяжёлых металлов и нефтепродуктами. Г.Н. Немтин и соавт. [32] для целей мониторинга загрязнения ДО водных объектов Пермского края исследовали 13 рек, наиболее подверженных негативному антропогенному воздействию, установив места отбора проб ДО наиболее близко к пунктам наблюдений за качеством поверхностных вод Пермского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. С помощью пробоотборника Эдельмана отобрано 69 проб на спаде половодья, в летнюю межень и перед ледоставом. Данные по степени загрязнения ДО оформили в виде картографического слоя (ГИС-слоя) «Загрязнение донных отложений» с возможностью дополнения и редактирования, топоосновой которого стала цифровая карта Пермского края. Координаты точек отбора определяли при полевом обследовании GPS-навигатором в системе WGS84. На основании данных, полученных при химическом анализе, исследованные водные объекты были условно разделены на категории «высоко загрязнённые», «среднезагрязнённые», «умеренно загрязнённые», «низко загрязнённые».

ГИДРОБИОНТЫ В МОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Ряд исследователей санитарное и экологическое состояние водных объектов оценивают по качеству и безопасности гидробионтов [33, 34].

Н.А. Головиной и соавт. [35] проведён отлов рыбы в осенне-летний период с 2013 по 2017 гг. из водоёмов Центрального федерального округа Российской Федерации. Установлено, что рыба таких областей, как Тверская, Тамбовская, Липецкая, Белгородская, Брянская является условно годной для приёма в пищу — в её мышцах обнаружены метацеркарии трематод, способные быть потенциально опасными для теплокровных животных и человека. Кроме того, в мышцах карася из реки Цна превышена допустимая остаточная концентрация по кадмию почти в 4 раза, у судака в Белгородском водохранилище — в 2,5 раза. Экологический мониторинг органического загрязнения водных объектов осуществляется также по автотрофному бентосу [36]. В работе А.Н. Грекова и соавт. [37] описаны результаты по разработке и исследованию системы биологического мониторинга водных объектов с использованием алгоритмов машинного обучения и биосенсоров на основе мидий «Экобиоконтроль». Главными достоинствами данной системы, по мнению авторов, являются высокая степень автоматизации процесса мониторинга и возможность создания крупных сетей автоматизированного контроля водных сред.

МОНИТОРИНГ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД

Немалое количество работ посвящено оценке состава сточных вод [38–42]. E. Legin et al. [38] описали практическое применение потенциометрических мультисенсорных систем для комплексной оценки безопасности различных природных вод России и Индии и для оценки интегральных и дискретных параметров сточных вод на двух водоочистных станциях в окрестностях Санкт-Петербурга. Установлена корреляция высокой степени показателей, полученных с помощью мультисенсорного анализа с показателями химическое потребление кислорода, определёнными

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

стандартными методами. Комплекс интегральных и дискретных характеристик рассчитывался с одним и тем же набором измерений, что подтверждало возможность одновременно получать данные по нескольким параметрам без дополнительных лабораторных исследований, материалов и прочего. Авторы отмечают также, что все анализы с использованием мультисенсорных систем, представленные в статье, могут быть полностью автоматизированы и проводиться в беспилотном и дистанционном режиме. А.В. Эпиташвили и С.И. Фонова [39] определяли качество очистки сточных вод станций очистки Воронежа и Липецка в 2010–2017 гг. путём отбора проб очищенных сточных вод в ёмкости с последующим их химическим и микробиологическим анализом в лаборатории. Было установлено, что очищенные сточные воды правобережной станции Воронежа имели превышение ПДК по азоту аммонийному, нитритам, меди, цинку, железу, нефтепродуктам, фосфатам, сточные воды левобережной станции очистки — по азоту аммонийному, нитритам, СПАВ, меди, цинку, железу, нефтепродуктам, фосфатам, очищенные сточные воды Липецкой станции очистки — по азоту аммонийному, нитритам, меди, цинку, железу, фосфатам. А.Е. Айнюлова и соавт. [40] изучили распределение сети автозаправочных станций ООО «Лукойл-Югнефтепродукт» в Краснодаре, проанализировали содержание ЗВ в сточных водах, почве и атмосферном воздухе в пределах территории этих станций и установили, что почве и атмосферном воздухе их содержание не превышает допустимых значений, а для сточных вод после очистки выше установленных норм, что ограничивает их использование. А.М. Заколюкина [41] привела результаты мониторинга показателей качества стока в реку Кубань с 2018 г. по 2022 г., расположенного в районе Тургеневского моста Краснодара. Так, сравнение с ПДК показало превышение по аммоний-иону (2–3,5 ПДК), азоту нитритному (2,5–4 ПДК), ХПК (3,8–5,3 ПДК), $БПК_5$ (45–100 ПДК), нефтепродуктам (3–8,4 ПДК), железу общему (4,5–22 ПДК), фосфатам (3,8–7,2 ПДК), ОКБ (6–$1{,}4\times10^4$ ПДК), ТКБ (19–10^5 ПДК) и с каждым годом превышение по отношению к ПДК возрастает. Т.И. Прожорина и соавт. [42] представили результаты оценки воздействия сточных вод левобережных городских очистных сооружений на качество вод Воронежского водохранилища по данным мониторинга химического состава воды за 2017–2018 гг. Авторы сравнивали фоновые показатели (на 500 м выше источника загрязнения) с показателями качества воды в пробах, взятых в месте сброса и на 1000 м ниже источников загрязнения. Наблюдающееся возрастание концентраций ЗВ в исследуемых пробах воды, по заключению авторов, указывало на возрастающую антропогенную нагрузку и ухудшение качества вод данного водохранилища под воздействием сбросов левобережных городских очистных сооружений.

Сточные воды существенно отличаются количественно и качественно по химическому составу в зависимости от хозяйственно-бытовой и производственной деятельности человека. В их составе могут присутствовать более 1000 наименований химических соединений. С учётом того, что объём исследований и количество показателей регламентированы и отличаются высокой стоимостью только физико-химическими методами дать достоверную картину степени эколого-гигиенического загрязнения проблематично. В этих условиях простым и эффективным методом оценки загрязнения сточных вод является метод биотестирования, позволяющий не только контролировать ЗВ, но и одномоментно оценивать степень их токсичности [43–45].

Кроме того, в настоящее время исследователи предлагают программы для ЭВМ, позволяющие проводить оценку индекса токсичности экспресс-методом с помощью прибора «Биотестер»[10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возрастающая антропогенная нагрузка на водные объекты, сохраняющаяся проблема загрязнения диффузными стоками (без надлежащего контроля) диктуют необходимость своевременного и систематического мониторинга их эколого-гигиенического состояния. Несмотря на наличие достаточного количества исследований, указывающих на преимущество автоматизированной системы мониторинга, пусть и весьма дорогостоящей, но позволяющей в режиме реального времени контролировать водные объекты, в системе государственного мониторинга для оценки качества воды применяются традиционные методы исследования, отличающиеся сложностью, затратами на обслуживание дорогостоящего лабораторного оборудования, использованием химических реактивов, требующие большего времени на проведение исследования и неэффективные для

[10] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682413 Российская Федерация. Программа для расчета индекса токсичности проб, полученных в результате анализа экспресс-методом с применением прибора серии «БИОТЕСТЕР». Семенова М.И., Веженкова И.В., Ковалевская А.С., и др. Заявл. 03.11.2022; опубл. 22.11.2022. Бюл. № 12. EDN: ZIJFMC

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

мониторинга на месте и в режиме реального времени. В этих условиях создание единой системы автоматизированного мониторинга эколого-гигиенического состояния водных сред, качества очистки сточных вод позволит вывести на новый качественный уровень охрану водных объектов. Для обеспечения единого комплексного подхода, позволяющего выявлять в режиме реального времени места, источники и степень загрязнения водных объектов с картированием их эколого-гигиенического состояния, необходимо принятие решений на законодательном уровне.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. О.В. Киёк — сбор и анализ литературных данных, подготовка, написание и редактирование текста рукописи; А.Н. Редько — сбор и анализ литературных данных, подготовка, написание и редактирование текста рукописи; Э.Ю. Енина — сбор и анализ литературных данных, подготовка, написание и редактирование текста рукописи; А.С. Круподер — сбор и анализ литературных данных, подготовка, написание и редактирование текста рукописи; А.П. Богдан — сбор и анализ литературных данных, подготовка, написание и редактирование текста рукописи. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

Источники финансирования. Публикация подготовлена при поддержке стратегического партнёрства в рамках программы «Приоритет 2030».

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: O.V. Kiyok: collection and analysis of literary data, preparation, writing and editing of the manuscript text; A.N. Redko: collection and analysis of literary data, preparation, writing and editing of the manuscript text; E.Yu. Enina: collection and analysis of literary data, preparation, writing and editing of the manuscript text; A.S. Krupoder: collection and analysis of literary data, preparation, writing and editing of the manuscript text; A.P. Bogdan: collection and analysis of literary data, preparation, writing and editing of the manuscript text. All authors approved the manuscript (the version for publication), and also agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring proper consideration and resolution of questions related to the accuracy and integrity of any part of it.

Funding sources: The publication was prepared with the support of a strategic partnership within the framework of the Priority 2030 program.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests for the last three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously published material (text, images, or data) was used in this work.

Data availability statement: The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, as no new data was collected or created.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved two external reviewers, a member of the editorial board, and the in-house scientific editor.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

1. Panarin VM, Maslova AA, Ryleeva EM, Savinkova SA. Autonomous system of surface water bodies monitoring for real time. *Ecology and Industry of Russia*. 2022;26(4):50–55. doi: 10.18412/1816-0395-2022-3-50-55 EDN: ITCDNU
2. Patent RUS № 2818532 C1/ 02.05.24. Bull. № 13. Panarin VM, Ryleeva EM, Sergeeva EV, Magradze MD. *Automated system for monitoring water pollution with effluents of industrial enterprises.* Available from: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67269456. EDN: PIMYHG
3. Patent RUS № 2521246 C1/ 27.06.14. Bull. № 18. Avandeeva OP, Barenbojm GM, Borisov VM, et al. *Submersible complex of environmental monitoring of water bodies.* Available from: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37449221. EDN: ZFPQBF
4. Patent RUS № 2499248 C1/ 20.11.2013 Bull. № 32. Abramov OI, Barenbojm GM, Borisov VM, et al. *Complex of environmental monitoring of water facilities.* Available from: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37519578. EDN: VUHWVC
5. Shiryaeva MA, Naumenko NO, Karpenko NP. Innovative hydrological monitoring technologies for water bodies quality prognosing. *Occupational Health and Human Ecology*. 2024;(2):175–190. doi: 10.24412/2411-3794-2024-10212 EDN: PIBWBY
6. Schastlivtsev EL, Yukina NI, Bykov AA. Analysis and assessment of water quality in the mining region using information technology. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2017;(S23):580–587. doi: 10.25018/0236-1493-2017-10-23-580-587 EDN: ZWSTQT
7. Markina TA, Bobyrev SV, Tikhomirova EI, Nikolayeva EA. Improving the system of ecological monitoring of springs in natural park «Kumysnaya Polyana» in Saratov city on the basis of geoinformation modeling. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2016;18(2-3):766–770. EDN: XUXRQF
8. Mkrtchyan FA, Soldatov VYu, Mkrtchyan MA. Expert system for automating hydrophysical studies for the purpose of adaptive identification of water environment parameters in the optical range. *Problems of Environment and Natural Resources*. 2024;(6):129–144. doi: 10.36535/0235-5019-2024-06-4 EDN: NTXDHF
9. Bergua JF, Hu L, Fuentes-Chust C, et al. Lateral flow device for water fecal pollution assessment: from troubleshooting of its microfluidics using bioluminescence to colorimetric monitoring of generic Escherichia coli. *Lab Chip*. 2021;21(12):2417–2426. doi: 10.1039/d1lc00090j
10. Willis JR, Sivaganesan M, Haugland RA, et al. Performance of NIST SRM® 2917 with 13 recreational water quality monitoring qPCR assays. *Water Res*. 2022;212:118114. doi: 10.1016/j.watres.2022.118114
11. Zainurin SN, Wan Ismail WZ, Mahamud SNI, et al. Advancements in monitoring water quality based on various sensing methods: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(21):14080. doi: 10.3390/ijerph192114080
12. Zhang H, Li H, Gao D, Yu H. Source identification of surface water pollution using multivariate statistics combined with physicochemical and socioeconomic parameters. *Sci Total Environ*. 2022;806(Pt 3):151274. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151274
13. Kanoun O, Lazarević-Pašti T, Pašti I, et al. A review of nanocomposite-modified electrochemical sensors for water quality monitoring. *Sensors (Basel)*. 2021;21(12):4131. doi: 10.3390/s21124131
14. Yaroshenko I, Kirsanov D, Marjanovic M, et al. Real-time water quality monitoring with chemical sensors. *Sensors (Basel)*. 2020;20(12):3432. doi: 10.3390/s20123432
15. Fashchevskaya TB, Motovilov YuG, Kortunova KV. Modeling the genetic components of the water and chemical runoff of heavy metals in the basin of the Nizhnekamskoe reservoir. *Vodnye resursy*. 2023;50(4):492–508. doi: 10.31857/S0321059623040077 EDN: QJHXQW
16. Kalyuzhin AS, Latyshevskaya NI, Bayrakova AL, et al. Geographic information system as a tool of public health monitoring in Rospotrebnadzor and health care structures given the example of sanitary and hygienic surveillance of water resources: analytical review. *Public Health and Life Environment — PH&LE*. 2024;32(1):36–48. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-1-36-48 EDN: WIGZJG
17. Manzhina SA, Domashenko YuYe. Russian and foreign practices of monitoring diffusion pollution entering water bodies. *Ecology and Water Management*. 2020;(3):1–20. doi: 10.31774/2658-7890-2020-3-1-20 EDN: NKUNHC
18. Slabunova AV, Slabunov VV, Surovikina AP. The current state of the environmental monitoring system in the context of water bodies diffuse pollution assessment. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*. 2020;(4):103–121. doi: 10.31774/2222-1816-2020-4-103-121 EDN: WOFZZH

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX
19. Polyanin VO. Conceptual approaches to monitoring diffuse pollution of water bodies. *Water Resources*. 2020;47(5):785–793. doi: 10.1134/S0097807820050152 EDN: BXZZOK
20. Yasinsky SV, Kashutina EA, Sidorova MV. The current state of the problem of assessing the characteristics of water bodies diffuse pollution in lowland watersheds. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2023;87(1):115–130. doi: 10.31857/S258755662301017X EDN: LVDCSQ
21. Kirpichnikova NV. Problems of the organization of monitoring of uncontrolled sources of pollution in the catchments of water bodies. In: *Monitoring of the state and pollution of the environment. Main results and development paths*. Moscow: FGBU IGKE Rosgidrometa i RAN; 2017. P. 422–424. (In Russ.) EDN: ZNIVST
22. Sidorova NA, Kalinin VM. Methodological approaches to the monitoring of diffuse pollution of water bodies in the oil fields (for example, deposits uvat group Tyumen region). *Regional Environmental Issues*. 2010;(6):135–140. EDN: NCSNAD
23. Prokhorov YuA, Molodyk AD, Lykov IN, et al. Regional network and results of regional monitoring of surface water bodies of the Kaluga region. *Regional Environmental Issues*. 2021;(3):65–70. doi: 10.24412/1728-323X-2021-3-65-70 EDN: BBGPRD
24. Kuznetsova KYu. Optimization of methods of state monitoring of water bodies for parasitological indices. *Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2017;96(5):437–442. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-5-437-442 EDN: YSQDET
25. Timoshchuk IV, Gorelkina AK, Mikhaylova ES, Utrobina TA. Development of a program for step-by-step monitoring of the state of water bodies in resource-oriented regions and consideration of anthropogenic impact. *Ugol' (Russian Coal Journal)*. 2024;(S11):165–170. doi: 10.18796/0041-5790-2024-11S-165-170 EDN: SKAQCZ
26. Timofeeva SS. Monitoring of the ecological state of water bodies and identification of sources of their pollution. In: *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. Moscow; 2018. P. 119. (In Russ.) EDN: YSSPAD
27. Meshchaninova EG, Akhromeeva NO. The use of remote sensing materials in monitoring water pollution. In: *Basic principles of land management and cadastre development*. Novocherkassk; 2022. P. 109–112. (In Russ.) EDN: ZACVKG
28. Kochev DV, Emikh NA, Kurganovich KA. Remote monitoring of surface water quality of water bodies as a factor in solving socio-economic problems of the Asia-Pacific region. In: *Scientific vector in the Asia-Pacific region: Proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists*. Cheat; 2022. P. 35–39. (In Russ.) EDN: UAQLJP
29. Tolkachev GYu, Korzhenevskiy BI, Kolomiytsev NV. Monitoring of sediment pollution for various water bodies in the upper Volga region. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya,geokriologiya*. 2023;(3):65–75. doi: 10.31857/S0869780923030116 EDN: WNKUCO
30. Barabashin TO, Korablina IV, Pavlenko LF, et al. Methodological support of pollution monitoring of the azov and black seas water bodies. *Aquatic Bioresources & Environment*. 2018;1(3-4):9–27. doi: 10.47921/2619-1024_2018_1_3-4_9 EDN: YSEVVZ
31. Bagmanov KR, Shamaev DE. Digital solutions for monitoring pollution of bottom sediments of water bodies by heavy metals and petroleum products. In: *Proceedings of the XIX All-Russian Conference of Young Scientists, postgraduates and students with international participation "Food Technologies and Biotechnologies"*. Kazan; 2025. P. 1113–1125. EDN: FHPVOR
32. Nemtin GN, Wertgeim AG, Kalinin AI. Organization and maintenance of pollution monitoring in bottom sediments of water bodies of Perm region. In: *Proceedings of the international scientific and practical conference "Geography and Region"*. Perm; 2015. P. 111–114. EDN: VJLDFP
33. Minchenok EE, Pakhomova NA. Assessment of urban water ecosystems using hydrobiological indicator. *Theoretical and Applied Ecology*. 2016;(3):48–55. EDN: YGHJQR
34. Korolevskaya VM, Bashirova MN, Epifanova AA, et al. Evaluation of the quality of water bodies biological and toxicological indicators. *Veles*. 2016;(6-1):53–57. EDN: WJXJUV
35. Golovina NA, Romanova NN, Golovin PP, Zdrok AV. Monitoring of the quality and safety of water biological resources from water bodies of the Central Federal District of the Russian Federation. *Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2020;99(3):246–252. doi: 10.33029/0016-9900-2020-99-3-246-252 EDN: DWCVUF
36. Shkundina FB, Nikitina OA. Environmental monitoring of organic pollution of water bodies in the city of autotrophic bentos. In: *Collection of scientific papers based on the materials of the 6th All-*

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

Russian Scientific and Practical conference with international participation "Environmental problems of industrial cities". Saratov; 2013. P. 316–318. EDN: ZTCVAR

37. Grekov AN, Vyshkvarkova EV, Ivakin YaA, et al. Biological early warning system for the aquatic environment control. *Ecological Systems and Devices*. 2024;(1):38–48. doi: 10.25791/esip.1.2024.1425 EDN: VMQPZI
38. Legin E, Zadorozhnaya O, Khaydukova M, et al. Rapid evaluation of integral quality and safety of surface and waste waters by a multisensor system (electronic tongue). *Sensors (Basel)*. 2019;19(9):2019. doi: 10.3390/s19092019
39. Epitashvili AV, Fonova SI. The influence of wastewater on natural bodies of water. In: *Materials of the eleventh International Innovation Project "School of Ecological and Geological Perspectives"*. Voronezh; 2024. P. 166–171. EDN: GWMNTR
40. Ainyulova AE, Bochko TF, Duvanakulov MA. Analysis of the impact of the gas station network of LLC Lukoil-Yugnefteprodukt on environmental components in the city of Krasnodar. In: *Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference "Actual problems of geoecology and Environmental Management"*. Krasnodar; 2024. P. 166–171. EDN: FHOEMY
41. Zakolyukina AM. Monitoring of flow quality indicators of flow into the Kuban river. In: *Collection of materials of the VII International Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the 110th anniversary of the birth of T.V. Alekseeva "Fundamental and applied research of young scientists"*. Omsk; 2023. P. 292–295. EDN: NNIOJC
42. Prozhhorina TI, Nagih TV. Assessment of the impact of wastewater left-bank treatment facilities on the quality the waters of the Voronezh reservoir. *Housing and Utilities Infrastructure*. 2018;(3):65–70. EDN: RWTKCF
43. Ignatenko A.V. Bioecological control of wastewater safety. In: *Materials of the reports of the V International Water Forum "Water Resources and Climate"*. Minsk; 2017. P. 151–154. EDN: YUJWJR
44. Ignatenko AV. Method of sample preparation and sewage sludge wastes toxicity biotesting. *Proceeedings of BSTU. Issue 2, Chemical Engineering, Biotechnology, Geoecology*. 2020;(1):102–107. EDN: NXSMPO
45. Larin VE, Polyanskaya SA, Rechkalov VV, et al. Comparison of toxicity indices of water samples with excess standards for physico-chemical parameters. *Production Quality Control*. 2017;(3):50–54. EDN: YFZZNH

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

* Автор, ответственный за переписку	* Corresponding author
* **Киёк Ольга Васильевна**, д-р мед. наук, доцент; адрес: Россия, 350063, Краснодар, ул. им. Митрофана Седина, д. 4; ORCID: 0000-0003-0900-6313; eLibrary SPIN: 5634-9234; e-mail: olga.kiek@mail.ru.	* **Olga V. Kiyok**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Associate Professor; address: 4 Mitrofan Sedin st, Krasnodar, Russia, 350063; ORCID: 0000-0003-0900-6313; eLibrary SPIN: 5634-9234; e-mail: olga.kiek@mail.ru.
Редько Андрей Николаевич, д-р мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0002-3454-1599; eLibrary SPIN: 5517-3692; e-mail: redko2005@mail.ru	**Andrey N. Redko**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0002-3454-1599; eLibrary SPIN: 5517-3692; e-mail: redko2005@mail.ru
Енина Элла Юрьевна; ORCID: 0000-0002-4466-7427; eLibrary SPIN: 7899-3343; e-mail: ella14081993@yandex.ru	**Ella Yu. Enina**; ORCID: 0000-0002-4466-7427; eLibrary SPIN: 7899-3343; e-mail: ella14081993@yandex.ru
Круподер Анна Сергеевна; ORCID: 0000-0003-3470-8923; eLibrary SPIN: 1425-6166; e-mail: anya.krupoder@mail.ru	**Anna S. Krupoder**; ORCID: 0000-0003-3470-8923; eLibrary SPIN: 1425-6166; e-mail: anya.krupoder@mail.ru
Богдан Александр Петрович, канд. мед. наук; ORCID: 0000-0002-1786-6906;	**Alexander P. Bogdan**, MD, Cand. Sci. (Medicine); ORCID: 0000-0002-1786-6906; eLibrary SPIN: 2471-9592;

Accepted for publication

DOI: XXXXXXXXXXXX
EDN: XXXXX

eLibrary SPIN: 2471-9592; e-mail: BogdanAP@ksma.ru	e-mail: BogdanAP@ksma.ru

Accepted for publication