

Современное состояние и проблемы мониторинга поверхностных водных объектов России (обзор)

© 2021. Т. И. Кутявина¹, к. б. н., с. н. с.,

Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,

¹Вятский государственный университет,

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

e-mail: kutyavinati@gmail.com

Проведён анализ существующей в России системы мониторинга поверхностных водных объектов. Обозначены методические и практические проблемы, возникающие при осуществлении мониторинга поверхностных вод суши (ПВС). Отмечено, что для совершенствования системы мониторинга ПВС в России, в первую очередь, необходимо актуализировать существующие программы мониторинга, более широко использовать современное оборудование, методы дистанционного зондирования Земли и информационные технологии. Перечень определяемых показателей следует составлять в соответствии с экологическими особенностями и характером использования водного объекта, учитывая новые виды загрязняющих веществ, поступающих в ПВС, и их трансформацию в водоёме. Наиболее актуальным в настоящее время остаётся вопрос нормирования воздействия загрязняющих веществ на водные экосистемы.

Ключевые слова: поверхностные воды суши, мониторинг поверхностных вод, программа мониторинга, государственный мониторинг, нормирование воздействия.

Current state and problems of monitoring of surface water bodies in Russia (review)

© 2021. Т. И. Кутявина¹ ORCID: 0000-0001-7957-0636*

Т. Я. Ашихмина^{1,2} ORCID: 0000-0003-4919-0047*

¹Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

²Institute of Biology of Komi Scientific Centre

of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,

e-mail: kutyavinati@gmail.com

The analysis of the existing system of surface water monitoring in Russia is carried out. The methodological and practical problems that arise when monitoring the surface water bodies of the country are identified. It is noted that in order to improve the monitoring system of water bodies in Russia, first of all, it is necessary to update existing monitoring programs, more widely use modern equipment, methods of remote sensing of the Earth and information technologies. The list of indicators to be assessed when monitoring water bodies should be compiled in accordance with the environmental characteristics and the nature of the use of the water body, taking into account new types of pollutants entering water ecosystems, the transformation of substances in the reservoir, the probability of secondary water pollution by biogenic elements and toxic substances as a result of diffusion from pore solutions of bottom sediments. The current issue is the regulation of the impact of various substances on the state of aquatic ecosystems. Possible solutions to this issue are the development of regional standards for assessing the state of water bodies, the transition from a hazard-based approach to a risk-based approach to normalizing the impact on water bodies.

Keywords: land surface water, surface water monitoring, monitoring program, state monitoring, impact rationing.

Водные ресурсы являются одним из основополагающих и динамичных элементов национального богатства Российской Федерации (РФ). Сформировавшийся на их основе водохозяйственный комплекс во многом определяет социально-экономическую устойчивость, масштаб и направления развития страны. Водохозяйственная и экологическая безопасность – важнейшая составляющая национальной безопасности государства. В ближайшей и отдалённой перспективе её сохранение будет зависеть от бесперебойности водоснабжения отраслей экономики и состояния водных ресурсов [1]. Исходными данными для оценки состояния водных ресурсов и разработки мер по сохранению качества вод являются данные мониторинга поверхностных водных объектов.

Цель работы – провести анализ существующей в России системы организации мониторинга поверхностных вод суши, выявить основные проблемы и определить пути их решения.

Организация государственного мониторинга поверхностных водных объектов в России

В России мониторинг водных объектов начал проводиться с 50-х годов XX века, а централизованное планирование этих работ в масштабе государства началось с 1974 г. В настоящее время организация мониторинга возложена на Федеральное агентство водных ресурсов (Росводресурсы), осуществляется Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидрометом) с участием уполномоченных органов исполнительной власти субъектов РФ [2, 3].

Правовой основой всей водохозяйственной деятельности является Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ, Водный кодекс Российской Федерации от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ, Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года от 27 августа 2009 г. № 1235-р [2].

Согласно РД 52.24.309-2016, научно-методическое руководство сетью наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши (ПВС) возложено на подведомственные институты Росгидромета: по гидрохимическим и токсикологическим показателям – на Гидрохимический институт, по гидробиологическим показателям – на Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, по

гидрологическим показателям – на Государственный гидрологический институт.

В рамках ведения мониторинга ПВС общегосударственная гидрологическая сеть осуществляет регулярные наблюдения за состоянием ПВС в части количественных показателей, обеспечивает сбор, обработку, обобщение и хранение сведений, полученных в результате наблюдений, и обеспечивает представление данных проводимого мониторинга органам власти разных уровней [3]. Мониторинг осуществляется на водных объектах, находящихся в федеральной собственности, в собственности субъектов РФ, муниципальных образований, физических и юридических лиц [4]. В 2020 г. наблюдения за загрязнением ПВС по гидрохимическим показателям проводились на 1807 пунктах, по гидробиологическим показателям – на 202 пунктах [5]. Помимо мониторинга ПВС осуществляется также мониторинг состояния гидротехнических сооружений (ГТС). Сведения о ГТС вносятся в Российский регистр ГТС один раз в 3–5 лет. Ведение регистра ГТС возложено на Росводресурсы.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ № 219 от 10 апреля 2007 г. «Об утверждении положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» мониторинг водных объектов, помимо федеральных организаций, должен проводиться также собственниками водных объектов и водопользователями. Они должны представлять в соответствующие территориальные органы Росводресурсы сведения, получаемые в результате наблюдений за водными объектами (морфометрическими особенностями) и их водоохранными зонами.

Для оценки качества природных вод в России используют систему предельно допустимых концентраций (ПДК) и интегральные индексы. В мировой практике такой подход называется опасностью-ориентированным или концепцией «нулевого» риска [6].

Существующая в России система мониторинга позволила накопить довольно много данных о количестве и качестве водных ресурсов, состоянии ГТС страны. Ведение мониторинга ПВС и ГТС необходимо для разработки и реализации схем комплексного использования и охраны водных объектов, предотвращения их загрязнения и истощения, осуществления мер по ликвидации последствий данных явлений. Особо актуальны данные мониторинга ПВС при использовании водных объектов для питьевого водоснабжения

населённых пунктов. Тем не менее, получаемые в настоящее время данные не позволяют провести полную и объективную оценку состояния водных экосистем в России, разработать эффективную систему водоохраных мероприятий, необходимых для сохранения качества водных ресурсов страны. Это связано с наличием ряда проблем в сложившейся в России системе мониторинга ПВС.

Проблемы мониторинга поверхностных водных объектов в России и пути их решения

Объекты мониторинга. Водные объекты включают в себя несколько компонентов: водные массы, донные отложения (ДО), прибрежную зону и биоту. Все они взаимосвязаны и оказывают влияние на состояние водного объекта, поэтому в программу мониторинга ПВС необходимо включать отбор проб и анализ всех компонентов водной экосистемы, а при оценке состояния водного объекта учитывать физико-химические и гидробиологические закономерности формирования качества воды. Если в настоящее время данные о водных массах собираются регулярно и в достаточно больших объёмах, то мониторингу ДО и биоты не уделяется должного внимания [6–8]. При этом, именно в ДО аккумулируется большая часть органических и неорганических соединений, попадающих с водосборной территории в виде диффузного и сосредоточенного стока, и образующихся непосредственно в водоёме, что может стать причиной вторичного загрязнения водных масс биогенными элементами и различными токсикантами в результате диффузии из поровых растворов [7]. В связи с этим, анализ ДО и биоты необходимо обязательно включать в программы мониторинга ПВС.

Нормативы воздействия на окружающую среду. В России в качестве индикаторов химического загрязнения водной среды, ДО, гидробионтов используются превышения ПДК контролируемых показателей, а при их отсутствии – фоновых концентраций веществ для незагрязнённых акваторий, которые были определены при мониторинговых исследованиях [9]. Одна из причин, по которой не проводится в необходимом объёме мониторинг ДО – отсутствие в РФ утверждённых на федеральном уровне ПДК загрязняющих веществ (ЗВ) в ДО [7]. Решение этой проблемы – использование для оценки состояния ДО усреднённых значений фоновых концен-

траций определяемых компонентов и кларков в земной коре, а также нормативов, принятых в других странах. Перечень из 27 органических и 8 неорганических веществ, которыми могут быть загрязнены ДО и для которых существуют нормативы в разных странах мира, представлен в работе [8]. Метод оценки загрязнённости ДО приоритетными ЗВ, в первую очередь тяжёлыми металлами, предложен в работе [10]. Авторы предлагают рассчитывать удельный комбинаторный индекс загрязнённости ДО, класс качества и степень загрязнённости ДО путём сопоставления фактических концентраций с соответствующими им фоновыми значениями (региональными нормативами) ЗВ в ДО. В работе [11] по результатам исследования 90 водных объектов Республики Татарстан определены региональные фоновые значения и верхние пределы природного содержания нефтепродуктов в ДО, превышение которых свидетельствует о наличии загрязнения.

При отсутствии ПДК для многих ксенобиотиков авторами работы [6] предлагается использовать информационные технологии оценки опасности ксенобиотического, включая лекарственное, загрязнения воды. Авторы предлагают систему с использованием 14 международных и национальных баз данных, среди которых 10 являются легитимными по отношению к России, а также программу прогноза биологической активности соединений по их структуре (Prediction of Activity Spectra for Substances) [6]. В зарубежной практике для оценки и управления токсичными веществами в речном бассейне был разработан веб-инструмент RiBaTox [12], который также можно использовать при проведении мониторинга ПВС и нормировании качества вод в России.

Использование системы ПДК, несомненно, играет важную роль в оценке качества водных объектов, однако можно отметить и слабые стороны этого подхода. На сегодняшний день ПДК установлены лишь для малой доли известных веществ [13, 14]. Соединения, поступающие в водоём, подвергаются различным трансформациям, в результате которых могут образовываться зачастую более опасные вещества, чем исходные, а ПДК для этих вторичных продуктов часто отсутствуют [6]. При сравнении фактически определённых концентраций с ПДК обычно не учитывается общая нагрузка на экосистемы, характеризующаяся рассеянным загрязнением большим числом веществ, находящихся в низких (на уровне

фоновых или даже следовых) концентрациях, т. е. так называемыми микрозагрязнителями [13]. Для решения этой проблемы авторы работы [13] предлагают установить перечень приоритетных микрозагрязнителей, подлежащих обязательному контролю, и разработать соответствующую программу мониторинга. Также существенным недостатком является то, что существующие ПДК одинаковы для всех водных объектов страны, несмотря на огромное различие физико-географических, климатических и социально-экономических условий [6]. Для решения этой проблемы предлагается использование региональных нормативов качества вод и бассейновых допустимых концентраций веществ [15, 16], однако методика разработки региональных ПДК в России в настоящее время отсутствует [17].

Следует отметить, что при нормировании воздействия на водные объекты во многих странах применяется риск-ориентированный подход [18–20]. При его использовании для каждого ЗВ на основании информации о свойствах вещества определяются вероятность воздействия на живые организмы и возможные негативные эффекты такого воздействия, а уровень допустимого риска учитывает экономическое состояние предприятий с использованием принципа наилучших доступных технологий [6]. Возможно, переход от опасность-ориентированного к риск-ориентированному подходу поможет решить проблему регулирования качества ПВС в России. В целом можно отметить, что нормирование воздействия различных веществ на состояние водных объектов и их отдельных компонентов в настоящее время является актуальной нерешённой задачей, требует существенной научной и методической проработки.

Перечень определяемых показателей.

При формировании перечня показателей необходимо учитывать экологические особенности водного объекта и характер его использования, выбирая в каждом конкретном случае наиболее информативные показатели. В работе [6] при оценке качества вод рекомендуется учитывать не только общепринятые в России показатели (в основном неорганические поллютанты), но и приоритетные ЗВ, обращая внимание на географические, производственные и иные особенности региона, в котором проводится мониторинг, а также использовать опыт других стран в этой сфере регулирования. Например, в рамках реализации проекта SOLUTIONS в европейских странах большое внимание уделяется оценке

токсического влияния смесей ЗВ на гидробионтов [21, 22]. В Казахстане для оценки качества воды в водоёмах со смешанным загрязнением рекомендуется учитывать структурные переменные сообществ зоопланктона (численность, биомассу, индексы разнообразия, среднюю массу особи), а также данные о структуре видового доминирования, половой структуре популяций копепод и наличии особей с морфологическими аномалиями [23]. В РД 52.24.309-2016 отмечается, что, наряду с определением в ДО таких ЗВ, как хлорорганические пестициды, нефтяные и полициклические ароматические углеводороды, тяжёлые металлы, целесообразно определять и токсикологические показатели, а также расширять список определяемых в ДО ЗВ в зависимости от особенностей использования водных объектов и появления новых веществ и химических соединений, поступающих в водоёмы. Авторы работ [24, 25] подчёркивают необходимость включения в перечень показателей действующей программы мониторинга ПВС в России микропластика, авторы работ [26, 27] – численности цианобактерий (ЦБ) и содержание цианотоксинов в воде. Для оценки интенсивности и прогноза развития процессов эвтрофирования ПВС в перечень показателей целесообразно включить концентрацию пигментов, в первую очередь, хлорофилла *a*. Информация о концентрации хлорофилла *a* и её изменении во времени позволяет прогнозировать массовое развитие водорослей и ЦБ или «цветение» воды. Эти данные необходимы в целях информирования населения, проживающего вблизи водных объектов, а также обслуживающего персонала поверхностных питьевых водозаборов для принятия мер по очистке водозаборных сооружений от скоплений фитопланктона. В странах Европейского Союза в рамках выполнения Водной рамочной директивы концентрация хлорофилла *a* является регулярно отслеживаемым параметром [28, 29].

В некоторых случаях более информативными оказываются интегральные показатели. Например, для оценки загрязнения водных объектов, находящихся в зоне влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината, наиболее информативным и надёжным оказался индекс загрязнения воды, рассчитанный по содержанию в воде K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , Li^+ и Ni^{2+} и сравнению концентраций ионов с региональными ПДК [15]. Учитывая быстрое развитие дистанционных методов анализа информации с космических снимков, в перечень

определяемых показателей при мониторинге ПВС следует включить расчёт спектральных индексов, например, индекса концентрации хлорофилла *a* в воде и нормализованного вегетационного индекса. Однако, следует учитывать, что величины спектральных индексов могут отличаться в зависимости от региональных особенностей водных экосистем. В связи с этим, одним из актуальных направлений деятельности является разработка региональных алгоритмов оценки состояния ПВС по спектральным индексам.

Таким образом, перечень определяемых показателей не может быть постоянным, должен учитывать как особенности конкретного водного объекта и его состояние, так и развитие химической промышленности, и появление новых видов веществ, поступающих в ПВС.

Методическая и приборная база мониторинга. Для надёжной и эффективной оценки состояния вод необходимо использовать комплекс биологических, химических и токсикологических методов мониторинга [14], а также методов дистанционного зондирования с привлечением современного оборудования. Направления модернизации гидробиологических методов мониторинга, применяемых подразделениями Росгидромета, и первоочередные мероприятия, необходимые для развития государственного мониторинга ПВС по гидробиологическим показателям, предложены в работе [14]. В последнее время активно развиваются дистанционные методы мониторинга [30–32]. Привлечение этих методов для изучения водных экосистем позволит уменьшить финансовые затраты на проведение мониторинга ПВС и охватить большие площади исследования. Совершенствование системы космического мониторинга в рамках обеспечения функционирования и развития государственной наблюдательной сети, систем сбора и обработки данных является одной из задач Росгидромета на 2021 г. [33].

Проблема использования устаревшей приборной базы при мониторинге ПВС отмечена в работе [6]. В последнее время эта проблема успешно решается в рамках реализации федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» [5]. Российскими предприятиями разрабатываются надводные аппараты, предназначенные для измерений физических характеристик и отбора проб воды для химического анализа [34]. Использование подобных аппаратов

целесообразно и эффективно при проведении мониторинга охладительных водоёмов, каналов атомных электростанций (АЭС), верхних бьефов гидроэлектростанций и других промышленных водоёмов.

Программа и сеть мониторинга. В научной литературе предлагаются пути создания и модернизации программ мониторинга на государственном [35, 36], региональном [37], муниципальном [4] уровнях, а также на уровне отдельных отраслей производства. Для совершенствования системы управления водоохраной на федеральном уровне предлагается как расширение программ наблюдений в существующей системе и создание новых постов, особенно в зонах высокого риска [35], так и сокращение программ наблюдений, их изменение в зависимости от геохимических характеристик ландшафта, характера антропогенного воздействия и вида использования водного объекта. В работе [36], выполненной на базе Института озёроведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН), предложено провести модернизацию государственного мониторинга для крупнейших водоёмов России с площадью акватории свыше 1 тыс. км², выделить в мониторинге таких водоёмов две составляющие: базовую (с единой программой и перечнем показателей) и индивидуальную (с социально-ориентированной программой и перечнем показателей, наиболее актуальных для конкретного водоёма). В связи с ратификацией Россией Стокгольмской конвенции 2001 г. о стойких органических загрязнителях (СОЗ), было предложено включить СОЗ в обязательный перечень показателей базовой части государственного мониторинга крупнейших водоёмов [36]. На основе разработанной системы ранней диагностики экологического состояния водных объектов [38] в ИНОЗ РАН разработана методика экспресс-диагностики малых и средних водоёмов России, включающая оптимизированное минимальное количество измеряемых параметров за короткий промежуток времени в репрезентативные фазы гидрологического режима [39]. Предложены программы мониторинга водных объектов, используемых крупными предприятиями. Например, в работе [40] на примере Балтийской АЭС предложена унифицированная программа мониторинга водоёмов, используемых для технического водоснабжения АЭС, до ввода в эксплуатацию АЭС. В связи с высоким рыбохозяйственным статусом р. Неман, воды которой используются на АЭС, и добычей биологических ресурсов реки тремя государства-

ми (РФ, Литовская Республика и Республика Беларусь) особое внимание авторы уделили мониторингу водных биологических ресурсов, в частности, нерестовой миграции корюшки.

Сбор, обработка и анализ информации.

Первичные данные о состоянии водных ресурсов, полученные в ходе проведения мониторинга, часто остаются неиспользованными вследствие отставания методического обеспечения по обработке, обобщению и анализу результатов мониторинга [41, 42]. Для решения этой проблемы создаются новые программные продукты, геоинформационные системы (ГИС) и сетевые ресурсы. Например, для водных ресурсов Кемеровской области, крупного угледобывающего региона России, разработана информационно-аналитическая система геоэкологического мониторинга «Водные ресурсы» [43]. Достоинства системы заключаются в возможности анализа общей загрязнённости водных объектов и комбинировании ингредиентов для выработки гипотез о действующих вариантах формирования загрязнений, выявлении границ распространения отдельных ЗВ по водотоку путём деления на отдельные территориальные кластеры [43]. Основной недостаток использования системы «Водные ресурсы» заключается в определении качества воды только на основании результатов гидрохимического анализа и сравнения их с ПДК, без учёта токсикологических данных. В Калужской области для сбора и обработки данных мониторинга ПВС создан Территориальный информационно-аналитический ресурс «Информационно-аналитическая система «Экологический мониторинг» (<http://admoblkaluga.ru/ecology/>), использование которого позволяет проводить оценку ПВС, планировать мероприятия по сокращению нагрузки на водные объекты, информировать население о качестве воды в ПВС [44]. Для водоёмов и рек Сибири разработана специализированная ГИС, основанная на данных оптической и радиолокационной спутниковой съёмки с космических аппаратов Sentinel-1, 2 и Landsat-8 [45]. Использование данной ГИС позволяет изучать динамику песчаных наносов в русле рек и проводить мониторинг оледенения водохранилищ [45]. Геоинформационные системы применяются для оценки биопродуктивности водоёмов Центрального региона России [46], для инвентаризации водных объектов и создания водохозяйственной карты Калмыкии [47]. На общегосударственном уровне с 1 января 2014 г. в РФ введена в постоянную эксплуатацию автоматизиро-

ванная информационная система государственного мониторинга ПВС, в задачи которой входит сбор, хранение и обработка информации по водным объектам на уровне субъектов РФ, речных бассейнов и в целом по России, информационное обеспечение государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов, управление водохозяйственными системами бассейнов рек и др. [48]. Для получения оперативной информации о состоянии ГТС на водных объектах целесообразно создание системы автоматизированного ведения мониторинга ГТС. Необходимость создания такой системы для проведения своевременной оценки состояния ГТС и принятия решений о целесообразности ремонта, реконструкции, нового строительства, эксплуатации, консервации и ликвидации ГТС обоснована в работе [49].

Таким образом, можно отметить, что разработка и применение новых программных продуктов, ГИС технологий для анализа информации о ПВС – одно из самых актуальных и востребованных направлений развития мониторинга водных объектов. Уже созданы продукты, позволяющие решить ряд экологических задач, однако, разработанные ГИС чаще применяются на территории отдельных регионов РФ. Для более широкого их применения и внедрения в систему мониторинга ПВС России необходимо проводить апробацию разработанных программных продуктов на других территориях страны, проводить их корректировку с учётом региональных особенностей водных объектов.

Заключение

Мониторинг ПВС на государственном уровне проводится в России уже более 45 лет. За это время была создана крупная сеть наблюдательных пунктов на водных объектах, разработаны программы наблюдений и системы нормирования качества воды. Созданная система мониторинга позволила получить данные о состоянии ПВС и ГТС, о количестве и качестве водных ресурсов России. Тем не менее, многочисленные научные исследования последних 10 лет свидетельствуют, что существующая система мониторинга ПВС устарела, требует серьёзных изменений, учитывающих современное состояние водных экосистем и появление новых видов загрязнений. Такие проблемы, как наблюдения за большим количеством акваторий и обработка больших баз данных решаются с помощью дистанци-

онных методов анализа и за счёт использования информационных технологий. Однако ряд проблем до сих пор остаётся актуальным, в частности, нормирование воздействия различных веществ на состояние водных объектов и их отдельных компонентов, выявление новых видов ЗВ и разработка методов их определения. Дальнейшие исследования в области мониторинга ПВС должны способствовать решению этих проблем.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-5830.2021.1.5).

References

1. State Report "On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2017". Moskva: NIA-Priroda, 2018. 298 p. (in Russian).
2. Gostishchev V.D., Sakharov R.Yu., Kuzmichev A.A. Modern approach to state monitoring of surface water bodies // Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii. 2012. No. 1 (05). [Internet resource] http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec562-field12.pdf (Accessed: 18.02.2021) (in Russian).
3. Monitoring as an ecosystem research tool [Internet resource] <http://gis.krasn.ru/blog/content/monitoring-vodnykh-resursov> (Accessed: 15.03.2021) (in Russian).
4. Novokreshchenova R.M., Nikolaeva O.N. Relevance of environmental monitoring of municipal-owned water bodies // Interekspo GEO-Sibir. XV Mezhdunarodnyy nauchnyy kongress: Sbornik materialov v 9 tomakh. V. 4. Novosibirsk: SGUGiT, 2019. No. 2. P. 112–117 (in Russian). doi: 10.33764/2618-981X-2019-4-2-112-117
5. Draft final report on the activities of Roshydromet in 2020 and tasks for 2021 [Internet resource] http://www.meteorf.ru/about/coordination/377/final/#DATE_FROM=01.01.2021&DATE_TO=31.12.2021&PAGEN_1=1&ID=377 (Accessed: 01.04.2021) (in Russian).
6. Venitsianov E.V., Adzhienko G.V., Voznyak A.A., Chiganova M.A. Modern problems of assessment, regulation and monitoring of surface water quality // Vodnoe khozyaystvo Rossii. 2018. No. 1. P. 47–59 (in Russian).
7. Ivanov D.V., Shagidullin R.R., Ziganshin I.I., Paymikina E.E., Marasov A.A., Malanin V.V., Khasanov R.R., Mustafina L.K. Monitoring of bottom sediments of the lower course of the Kazanka River // Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii. 2018. No. 2 (14). P. 11–16 (in Russian).
8. Mikhaylova L.B., Stepanova N.Yu. The concept of developing standards for the content of pollutants and mixtures in bottom sediments and soils of freshwater objects of fisheries importance // Vestnik rybokhozyaystvennoy nauki. 2017. V. 4. No. 3 (15). P. 56–65 (in Russian).
9. Sokolova S.A. Rationing of anthropogenic substances for water quality assessment of water bodies // Kontrol kachestva produktsii. 2017. No. 4. P. 29–35 (in Russian).
10. Valiev V.S., Ivanov D.V., Shagidullin R.R. Method of comprehensive assessment of bottom sediment contamination // Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. 2019. No. 9. P. 51–59 (in Russian). doi: 10.17076/lim1122
11. Ivanov D.V., Valiev V.S., Shagidullin R.R. Statistical approach to the determination of regional background concentrations of petroleum hydrocarbons in bottom sediments // Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. 2020. No. 9. P. 30–39 (in Russian). doi: 10.17076/lim1256
12. Kramer K.J.M., Sleuwaert F., Engelen G., Müller C., Brack W., Posthuma L. The RiBaTox web tool: selecting methods to assess and manage the diverse problem of chemical pollution in surface waters // Environ Sci. Eur. 2019. V. 31. Article No. 68. doi: 10.1186/s12302-019-0244-7
13. Zubrilov S.P., Rastrygin N.V. On the need to monitor surface water bodies for the content of micro-pollutants // Arctic: society, science and law: sb. statey / Ed. N.K. Kharlampeva. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet, 2020. P. 270–281 (in Russian).
14. Buyvolov Yu.A., Bykova I.V., Lazareva G.A., Potyutko O.M., Uvarov A.G. Current state and prospects of development of water quality monitoring by hydrobiological indicators in Russia // Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. 2016. V. XXVII. No. 2. P. 42–58 (in Russian). doi: 10.21513/0207-2564-2016-2-42-58
15. Lozovik P.A., Kulakova N.E. Methodological approaches to the assessment of water pollution in the area of operation of mining enterprises // Water Resources. 2014. V. 41. No. 4. P. 429–438 (in Russian). doi: 10.7868/S0321059614040117
16. Timofeyeva L.A., Frumin G.T. Problems of surface water quality norming // Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2015. V. 38. P. 215–229 (in Russian).
17. Oboldina G.A. Alternative approach to the methodology of environmental regulation // Vodnoe khozyaystvo Rossii. 2020. No. 6. P. 63–86 (in Russian). doi: 10.35567/1999-4508-2020-6-4
18. Sarang A., Vahedi A., Shamsai A. How to quantify sustainable development: A risk-based approach to water quality management // Environmental Management. 2008. V. 41. P. 200–220. doi: 10.1007/s00267-007-9047-5
19. Hall J., Borgomeo E. Risk-based principles for defining and managing water security // Phil. Trans. R. Soc. A. 2013. V. 371. Article No. 20120407. doi: 10.1098/rsta.2012.0407
20. Borgomeo E., Hall J.W., Fung F., Watts G., Colquhoun K., Lambert C. Risk-based water resources planning: Incorporating probabilistic nonstationary climate uncertainties // Water Resour. Res. 2014. V. 50. P. 6850–6873. doi: 10.1002/2014WR015558

21. Altenburger R., Brack W., Burgess R.M., Busch W., Escher B.I., Focks A., Hewitt L.M., Jacobsen B.N., de Alda M.L., Ait-Aissa S., Backhaus T., Ginebreda A., Hilscherová K., Hollender J., Hollert H., Neale P.A., Schulze T., Schymanski E.L., Teodorovic I., Tindall A.J., de Aragão Umbuzeiro G., Vrana B., Zonja B., Krauss M. Future water quality monitoring: improving the balance between exposure and toxicity assessments of real-world pollutant mixtures // *Environ Sci. Eur.* 2019. V. 31. Article No. 12. doi: 10.1186/s12302-019-0193-1
22. Kortenkamp A., Faust M., Backhaus T., Altenburger R., Scholze M., Müller C., Ermler S., Posthuma L., Brack W. Mixture risks threaten water quality: the European Collaborative Project SOLUTIONS recommends changes to the WFD and better coordination across all pieces of European chemicals legislation to improve protection from exposure of the aquatic environment to multiple pollutants // *Environ Sci. Eur.* 2019. V. 31. Article No. 69. doi: 10.1186/s12302-019-0245-6
23. Krupa E., Barinova S., Romanova S., Aubakirova M., Ainabaeva N. Planktonic invertebrates in the assessment of long-term change in water quality of the Sorbulak wastewater disposal system (Kazakhstan) // *Water.* 2020. V. 12. Article No. 3409. doi: 10.3390/w12123409
24. Biritskaya S.A., Dolinskaya E.M., Teplykh M.A., Ermolaeva Ya.K., Pushnitsa V.A., Bukhaeva L.B., Kuznetsova I.V., Okholina A.I., Karnaukhov D.Yu., Zilov E.A. Microplastic water pollution over the littoral zone in the southern basin of Lake Baikal // *Baykalskiy zoologicheskii zhurnal.* 2020. No. 2 (28). P. 29–32 (in Russian).
25. Nikitin O.V., Latypova V.Z., Ashikhmina T.Ya., Kuzmin R.S., Nasyrova E.I., Haripov I.I. Microscopic particles of synthetic polymers in freshwater ecosystems: review and the current state of the problem // *Theoretical and Applied Ecology.* 2020. No. 4. P. 216–222 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-216-222
26. Kalinikova T.B., Gaynutdinov M.Kh., Shagidullin R.R. Methods for controlling the number of cyanobacteria in water bodies and cleaning drinking water from cyanotoxins // *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii.* 2019. No. 4. P. 33–45 (in Russian).
27. Sukharevich V.I., Polyak Yu.M. Global distribution of cyanobacteria: causes and consequences (review) // *Inland Water Biology.* 2020. No. 6. P. 562–572 (in Russian). doi: 10.31857/S0320965220060170
28. Dörnhöfer K., Klinger P., Heege T., Oppelt N. Multi-sensor satellite and *in situ* monitoring of phytoplankton development in a eutrophic-mesotrophic lake // *Science of the Total Environment.* 2018. V. 612. P. 1200–1214. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.219
29. Sòria-Perpinyà X., Urrego P., Pereira-Sandoval M., Ruiz-Verdú A., Peña R., Soria J.M., Delegido J., Vicente E., Moreno J. Monitoring the ecological state of a hypertrophic lake (Albufera of València, Spain) using multitemporal Sentinel-2 images // *Limnetica.* 2019. V. 38. No. 4. P. 457–469. doi: 10.23818/limn.38.26
30. Kutuzov A.V. Operational satellite monitoring of planktonic algae accumulations and quantitative assessment of their density // *Geographical Bulletin.* 2016. V. 3. No. 38. P. 160–168 (in Russian). doi: 10.17072/2079-7877-2016-3-160-168
31. Molkov A.A., Kalinskaya D.V., Kapustin I.A., Korchemkina E.N., Osokina V.A., Pelevin V.V. On the prospects of remote assessment of hydrobiological characteristics of the waters of inland fresh water bodies based on the results of expeditions to the Gorky reservoir in 2016 // *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfovoy zony morya.* 2017. No. 2. P. 59–67 (in Russian).
32. Kutyavina T.I., Rutman V.V., Ashikhmina T.Ya. Remote monitoring of overgrowth of the eutrophied reservoir water area by higher aquatic vegetation // *Theoretical and Applied Ecology.* 2020. No. 3. P. 36–40 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-036-040
33. Draft Declaration of the goals and objectives of Roshydromet for 2021 [Internet resource] http://www.meteorf.ru/about/coordination/377/final/#DATE_FROM=01.01.2021&DATE_TO=31.12.2021&PAGEN_1=1&ID=377 (Accessed: 01.04.2021) (in Russian).
34. Nikitskiy A.Yu., Sirenko A.E., Yablokova Yu.V. Autonomous surface vehicle “Chomga” for monitoring water areas // *Sistemy upravleniya i obrabotki informatsii.* 2018. No. 1 (40). P. 95–98 (in Russian).
35. Venitsianov E.V. Current issues of improving the water resources protection management system // *Vodnoe khozyaystvo Rossii.* 2016. No. 4. P. 86–102 (in Russian).
36. Rumyantsev V.A., Kryukov L.N. Relevance of optimization of state monitoring of the largest reservoirs of Russia on the example of Lake Ladoga // *Uchenye zapiski RGGMU.* 2017. No. 48. P. 110–119 (in Russian).
37. Tikhomirov O.A., Pakhomov P.M. Formation of monitoring subsystems ecological and hydrochemical state of regional water bodies // *Bulletin of the Tver State University. Series: Chemistry.* 2017. No. 2. P. 140–151 (in Russian).
38. Rumyantsev V.A., Ignateva N.V. The system of early diagnosis of environmental crisis situations in water bodies. Sankt-Peterburg: VVM, 2006. 152 p. (in Russian).
39. Pozdnyakov Sh.R., Ignateva N.V. The concept of the development of a modern system for assessing the ecological state of water bodies // *Sustainable development of regions: experience, problems, prospects: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii.* Kazan: Akademiya nauk Respubliki Tatarstan, 2017. P. 331–336 [Internet resource] <https://elibrary.ru/item.asp?id=34979813> (Accessed: 22.04.2021) (in Russian).
40. Luneva E.V. Development of a unified program for environmental monitoring of natural water bodies used for the technical water supply of the NPP before its commissioning (on the example of the Baltic NPP) // *Vestnik RUDN. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti.* 2015. No. 3. P. 78–86 (in Russian).

41. Zhuk V.N., Varlamov E.N. Foreign experience in surface water monitoring // Ecology and Industry. 2019. No. 2. P. 113–119 (in Russian). doi: 10.35477/2311-584X.59.113-119
42. Shabanov V.V., Markin V.N. Monitoring of water bodies in modern conditions. Moskva: Izdatelstvo RGAU-MSKhA, 2015. 151 p. (in Russian).
43. Schastlivtsev E.L., Yurkina N.I., Kharlampenkov I.E. Information and analytical system for geoecological monitoring of water resources in the coal-mining region // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. No. 2. P. 157–164 (in Russian).
44. Molodyk A.D., Marin V.P., Manshina I.V., Shoshina R.R., Vaganov G.A., Korzhavyi A.P. Concept of a target regional system for monitoring surface water bodies // Naukoemkie tekhnologii. 2019. V. 20. No. 4. P. 70–76 (in Russian). doi: 10.18127/j19998465-201904-08
45. Dontsov A.A., Sutorikhin I.A. Specialized geoinformation system for automated monitoring of rivers and reservoirs // Vychislitelnye tekhnologii. 2017. V. 22. No. 5. P. 39–46 (in Russian).
46. Moiseenko T.I., Gapeeva M.V., Rogov A.V. Assessment of biological productivity of water bodies using GIS [Internet resource] <http://zhurnal.ape-re-larn.ru/articles/2006/114.pdf> (Accessed: 11.03.2021) (in Russian).
47. Novikova N.M., Ulanova S.S. Geoecological monitoring of water bodies in Kalmykia using information technologies // Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennyye nauki. 2007. No. 4. P. 106–108 (in Russian).
48. FGIS: Automated Information System for State Monitoring of Water Bodies of the Russian Federation [Internet resource] <https://portal.eskgov.ru/fgis/267> (Accessed: 05.03.2021) (in Russian).
49. Volynov M.A., Zhezmer V.B., Sidorova S.A. Methods of analysis and processing of monitoring data for hydraulic structures of the reclamation complex // Prirodoobustroystvo. 2017. No. 1. P. 79–86 (in Russian).