

ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ
КАЧЕСТВОМ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ИХ ОХРАНЕ

© 2019 г. В.И. Данилов-Данильян*, Е.В. Веницианов**,
Г.В. Аджиенко***, М.А. Козлова****

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

*E-mail: vidd38@yandex.ru; **E-mail: eugeny.venitsianov@gmail.com;

E-mail: adgi89@bk.ru; *E-mail: mblshok@mail.ru

Поступила в редакцию 21.06.2019 г.

Поступила после доработки 29.07.2019 г.

Принята к публикации 16.09.2019 г.

В статье представлен анализ современного состояния качества поверхностных вод России. Обозначены основные проблемы управления качеством: использование для питьевых целей воды, не соответствующей по ряду показателей установленным нормативам; несовершенство экономического механизма управления качеством природных вод; устаревшая и противоречивая законодательная и нормативно-правовая база управления водными объектами; низкая эффективность надзорной деятельности; слабость системы мониторинга и статистики. Отмечены недостатки научно-методической базы управления качеством вод. Обосновывается необходимость перехода к риск-ориентированному подходу в природоохранном регулировании. Используемая в настоящее время концепция нулевого риска не обеспечивает достижения целевых показателей качества вод.

Ключевые слова: качество природных вод, управление качеством природных вод, нормативы качества питьевой воды, риск-ориентированный подход к управлению.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-587389121248-1259>

В настоящее время в мире качество воды и состояние экосистем поверхностных водных объектов суши определяются главным образом воздействием на них антропогенных факторов. Среди них самый существенный – загрязнение. Оно происходит в виде организованного сброса загрязнённых сточных вод из так называемых точечных источников, то есть через трубы, и неорганизованного (неконтролируемого) стока от диффузных, или распределённых, источников. К последним относят стоки с сельскохозяйственных полей, городских территорий и промышленных площадок, не оборудованных ливневой канализацией, полигонов и свалок – хранилищ твёрдых бытовых и промышленных отходов,

утечки из нефтепроводов и продуктопроводов в результате их разгерметизации на суше и в реках, топляки, почти неизбежные при сплаве леса даже плотами и кошелями, сбросы, производимые речным транспортом, атмосферные осадки в виде дождя, снега, града и без них.

Любые гидротехнические сооружения влияют как на качество воды, так и на состояние водных экосистем. Однако если загрязнения практически всегда негативно воздействуют на водную экосистему (исключения составляют случаи, когда содержащиеся в сбросной воде бактерии разлагают химические загрязняющие вещества, присутствующие в воде приёмника), то водохранилища часто выполняют позитивную (во всяком случае, на период в несколько десятков лет) функцию отстойников. Это характерно для всех водохранилищ крупнейшего Волжско-Камского каскада. Со временем донные осадки по мере накопления и роста концентрации в них примесей, в том числе опасных, сами становятся источником вторичного загрязнения, отдавая накопленную грязь в воду как в растворённом, так во взвешенном виде при взмучивании. Плотины водохранилищ становят-

ДАНИЛОВ-ДАНИЛЬЯН Виктор Иванович – член-корреспондент РАН, научный руководитель ИВП РАН. ВЕНИЦИАНОВ Евгений Викторович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией охраны вод ИВП РАН. АДЖИЕНКО Георгий Владиславович – младший научный сотрудник ИВП РАН. КОЗЛОВА Мария Алексеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник ИВП РАН.

ся, судя по опыту, практически непреодолимым препятствием для ценных видов проходных рыб, несмотря на попытки строить рыбопропускные сооружения. Судовые волны разрушают берега, и продукты этого процесса в современных условиях становятся ещё одним фактором загрязнения. Почти всё, что делает человек на водных объектах и в водосборных бассейнах, негативно воздействует на качество воды и водные экосистемы, если, конечно, эта деятельность не проводится с целью охраны вод и восстановления угнетённых экосистем.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В 1950-е годы мир облетели сообщения о новых заболеваниях, нередко со смертельным исходом, зарегистрированных в Японии. Первое из них, получившее название итай-итай, как выяснилось, было вызвано отравлением солями тяжёлых металлов, особенно кадмия, которые оказались в реке Дзиндзу вследствие сброса сточных вод предприятием цветной металлургии компании "Мицуи". Воду реки использовали для орошения рисовых чеков и рыбоводства. Соли кадмия накапливались в рисе и рыбе, а при их длительном употреблении — и в организмах жителей шести префектур, вызывая тяжёлые отравления. Болезнь итай-итай, при которой поражаются суставы и почки, была известна несколько десятилетий. Долгое время учёные безуспешно искали её бактериального возбудителя, и только в 1950 г. удалось собрать все звенья цепи, приводящие к болезни, начиная с загрязнения водного объекта.

В 1956 г. в окрестностях японского города Миnamата обнаружилось неведомое ранее заболевание, проявлявшееся различными неврологическими патологиями, вплоть до параличей, которое в каждом третьем случае заканчивалось летальным исходом. Причина болезни, получившей название минамата, оказалась сходной с итай-итай, только место её проявления было другим и действующим веществом на этот раз оказалась метилртуть. В остальном — уже знакомая схема: сброс загрязнённых стоков в речную сеть, накопление токсиканта в водных организмах и продуктах растениеводства, использующего загрязнённую воду, потребление этих продуктов и рыбы человеком, отравление с тяжёлым исходом.

Первые научные описания последствий загрязнения водных объектов были замечены мировой общественностью, но радикальные меры для улучшения ситуации ждали своего часа ещё полтора—два десятилетия. К 1970-м годам многие водные объекты даже в развитых странах

приблизились к катастрофическому состоянию. Широко известные примеры — река Рейн, которую в то время называли "клоакой Европы", и Великие озёра Северной Америки. В воде Рейна любое из массовых загрязняющих веществ (нефтепродукты, соли тяжёлых металлов, поверхностно-активные вещества, ароматические углеводороды, полихлорированные бифенилы) можно было обнаружить в концентрациях, в десятки и сотни раз превышавших допустимые. Великие озёра страдали от эвтрофирования: загрязнение соединениями фосфора и азота приводило к взрывному размножению сине-зелёных водорослей, выделявших токсины, губительные для многих видов гидробионтов, в том числе большинства рыб, и людей.

В те же годы, особенно после Конференции ООН по окружающей среде (Стокгольм, 1972 г.), в развитых странах началась систематическая работа по охране и оздоровлению окружающей среды, в том числе водных объектов. Она включала мониторинг состояния окружающей среды, контроль источников негативного воздействия на неё, систему мер по реализации принципа "загрязнитель платит", налоговые и прочие льготы фирмам, производившим экологичную продукцию, природоохранные, ресурсо- и энергосберегающие технологии, прежде всего позволявшие утилизировать отходы или в худшем случае обезвреживать наиболее опасные из них. Естественно, формирование экологической политики, как и руководство по её реализации, входило в функциональные обязанности основанных в развитых и многих развивающихся странах специальных природоохранных органов исполнительной власти и базировалось на экологическом законодательстве, действовавшем в этих государствах на национальном уровне и непрерывно обогащавшемся международными соглашениями. Но эта деятельность носила односторонний характер, поскольку улучшение состояния окружающей среды в развитых странах в немалой степени достигалось за счёт его ухудшения в развивающихся, куда переводились не только "грязные" производства, но нередко и экспортные отходы промышленности.

Советский Союз заметно отставал в этой сфере от передовых стран. Министерство водного хозяйства СССР охраной вод не занималось, специальный экологический орган исполнительной власти (сначала государственный комитет, впоследствии — министерство) появился только в 1988 г. Природоохранное законодательство было бессистемным, базовый экологический закон в СССР так и не удалось разработать. Перманентные экономические трудности предопределяли остаточный принцип финансирования всего, что ка-

салось водоснабжения населения, исключение составляли Москва, Ленинград и ещё несколько крупных городов. К моменту распада СССР водное хозяйство республик, в том числе РСФСР, по техническому уровню отставало от западноевропейского по меньшей мере на 15 лет.

В 1990-е годы в условиях катастрофического спада производства у Российской Федерации не было возможности ликвидировать это отставание. Более того, оно увеличилось из-за отсутствия финансовых средств для нового строительства, модернизации оборудования и капитального ремонта существующих мощностей водоподготовки и водоочистки. Негативное воздействие хозяйства на водные объекты уменьшилось, но связь с падением производства вовсе не была линейной. Если ВВП сократился вдвое, то объём загрязнений, сбрасываемых в водные объекты, — примерно на треть. Значительно снизилось сельскохозяйственное загрязнение: удобрения и пестициды стали продавать по диктуемым мировым рынком ценам равновесия, при которых объём спроса равен объёму предложения, и они оказались не по карману преобразуемым в частный сектор колхозам и совхозам. Здесь сокращение сброса загрязняющих веществ заметно превышало двукратный размер. Но промышленность сократила бы такой сброс, как и объём производства, вдвое, если бы не старение, нередко — выбытие оборудования на очистных сооружениях, частые его отключения ради экономии резко подорожавших источников энергии и требуемых оборотных средств. Таким образом, в этом секторе экономики объём сброса загрязняющих веществ снизился менее чем в 2 раза. Наконец, в жилищно-коммунальном хозяйстве сокращения практически не произошло: уменьшение объёма используемой бытовой химии компенсировалось ухудшением качества очистки (по тем же причинам, что и в промышленности).

Однако даже весьма существенное (на треть!) снижение объёма сброса загрязняющих веществ в 1990-е годы практически не отразилось на качестве воды: концентрация загрязняющих веществ в источниках питьевого водоснабжения в среднем сократилась не более чем на 15%. Неясно, закономерно ли такое несоответствие (на процесс могли повлиять неизученные особенности функционирования водных экосистем и, соответственно, способность водных объектов к самоочищению, феномен вторичного загрязнения), либо же его следует объяснить ошибками измерений в данном и/или предшествующем периоде. Заметим, что точность измерений, касающихся природных объектов, в гидрологии совсем не та, что в физике или химии: считается, что относительная погрешность вполне может составлять 10, а то и 15%.

Современное состояние качества поверхностных вод, по данным Государственных докладов о состоянии окружающей среды в Российской Федерации за 2003—2015 гг., остаётся стабильным, однако характеризуется рядом проблем, в совокупности ставящих под сомнение эффективность действующей в стране системы управления водными ресурсами. Большие на протяжении длительного периода времени объёмы поступлений загрязняющих веществ в составе сбросов сточных вод и неконтролируемого, в основном диффузного, стока в водные объекты обуславливают неудовлетворительное качество питьевой воды в системах водоснабжения населённых пунктов и плохое экологическое состояние многих водных объектов, что является следствием несовершенства действующей системы управления водным хозяйством.

К главным индикаторам состояния водного хозяйства относятся показатели водоснабжения и водоотведения. Услугами централизованного водоснабжения в России пользуются около 120 млн человек (82% населения). Если в крупных и средних городах ими охвачено 100% населения, то в сельских пунктах всего 33% [1]. Более информативный показатель — доля воды, пропускаемой через системы водоподготовки. В городе она достигает 59%, а в сельских населённых пунктах — менее 20%. При этом доля источников централизованного водоснабжения, не соответствующих санитарно-эпидемиологическим показателям, по данным Роспотребнадзора, в 2014—2016 гг. доходила до 34,1% для поверхностных и до 15,2% для подземных источников [2]. Около четверти водозаборов из поверхностных источников водоснабжения не имеют необходимых очистных сооружений. Каждый второй житель РФ вынужден использовать для питьевых целей воду, по ряду показателей не соответствующую установленным нормативам [3]. Статистика указывает, что за последние годы ситуация кардинально не изменилась [2, 4].

Для большинства субъектов РФ серьёзной экологической проблемой остаётся низкое качество или отсутствие очистки сточных вод. В 2015 г. общий объём сбросов сточных вод из организованных источников составил 42,9 млрд м³, из которых 14,4 млрд м³ (35%) классифицированы как загрязнённые. При этом 55% загрязнённых сточных вод приходится на очистные сооружения коммунальной канализации городов ввиду либо полного отсутствия очистных сооружений в населённых пунктах, либо сильного износа основных фондов, достигшего 42,2%, либо перегрузки. Отрасль водопроводно-коммунального хозяйства сама справиться с данной проблемой не может, в первую очередь по причине недостаточного фи-

нансирования. Как следствие, вода в Волге ниже сбросов сточных вод Астрахани и в Москве-реке ниже Москвы, согласно принятой классификации качества, относится к классу 4а, 4б (грязная), а в Оке ниже Каширы и Пахре ниже Подольска – к классу 4в, 4г (очень грязная) [4].

Кроме того, к значимым проблемам, не поддающимся сейчас количественной оценке, следует отнести воздействие на водные объекты диффузного стока с сельскохозяйственных и селитебных территорий, площадей размещения коммунальных и промышленных отходов.

Среди насущных научно-технологических проблем водоснабжения и водоотведения России – отсталость используемых технологий очистки сточных вод в системе ЖКХ. Большинство развитых стран работают по третичной технологии, позволяющей удалять азотные и фосфорсодержащие растворённые в воде минеральные вещества, а также плохо растворимые ксенобиотики (лекарства, средства бытовой, сельскохозяйственной и промышленной химии).

Причина большинства проблем водного хозяйства страны – несовершенство действующей системы управления водными ресурсами и водным хозяйством РФ, недостатки которой рассмотрим далее.

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ В РОССИИ

Финансовое обеспечение. Ключевая проблема российского водного хозяйства – оторванность его экономического механизма от реальных потребностей управления водопользованием, прежде всего водоохраны. В документе [5] сообщается, что в условно сопоставимых ценах текущие затраты на охрану и рациональное использование водных ресурсов в 2015 г. по сравнению с 2005 г. составили 85–86%, но о причинах снижения финансирования не сообщается.

Более чем в 2 раза сократился объём финансирования основного стратегического инструмента управления отраслью – ФЦП "Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 гг." [5, 6]. Наблюдается серьёзное недофинансирование НИОКР: в 2019 г. на эти цели направлено 900 млн руб. вместо запланированных 2,04 млрд руб.

Капиталовложения в водоохрану и рациональное использование водных ресурсов из всех источников финансирования за последние 10 лет находились на уровне 25–30 млрд руб. Между тем расчёты показывают, что для реализации сценария "неухудшение состояния водных ресурсов" ежегодно требуется около 45 млрд руб., а для улучшения состояния – более 70 млрд руб.

Следовательно, необходимо резко увеличить бюджетную поддержку водоохранных мероприятий, либо в несколько раз повысить ставки водного налога. Впрочем, эти тактические задачи не антагонистичны, их можно использовать совместно. Радикальное изменение ситуации с финансированием водного хозяйства имеет ключевое значение для экологического благополучия водных ресурсов России и в конечном счёте для здоровья населения.

Управление качеством вод водных объектов. Среди актуальных проблем в этой области – переход на принцип нормирования в соответствии с наилучшими доступными технологиями (НДТ) по отраслям промышленности и ЖКХ. Эта задача обозначена в Федеральном законе от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации». С НДТ у многих специалистов связаны самые радужные надежды на экологизацию российской промышленности, сельского хозяйства и транспорта. Сделан первый шаг: разработаны информационно-технологические справочники по НДТ для отдельных отраслей. Однако подобные справочники сами по себе не стимулируют внедрение НДТ и не улучшают ситуацию с привлечением инвестиций. До сих пор нет чёткой процедуры, позволяющей объединить НДТ с действующими нормативами допустимых сбросов (НДС), не разработана и система начисления платежей за негативное воздействие на окружающую среду. Переход к ней взамен системы, основанной на использовании норматива предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ, был главной целью введения в 1990-е годы самого понятия НДТ. Перечисленные проблемы – научные, и их решение должно опираться на научный анализ. Возникает риск повторить печальный опыт с созданием нормативов допустимых воздействий (НДВ) на водные объекты бассейнов крупных рек. На их разработку затратили сотни миллионов рублей, однако данные нормативы так и не были включены в систему регулирования сбросов сточных вод.

Аналогичная проблема возникла и с разработанными в соответствии с Водным кодексом РФ № 74-ФЗ от 3 июня 2006 г. (последние изменения внесены в декабре 2018 г.) для всех водных бассейнов Схемами комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), которые должны были обеспечить осуществление экологически и экономически обоснованных мероприятий по улучшению состояния водных ресурсов. Концепция СКИОВО, восходящая к 1980-м годам, устарела уже к моменту принятия Водного кодекса РФ. В большинстве стран для оценки

влияния сбросов сточных вод действующих и проектируемых предприятий применяют математические модели. Заметим, что в США для расчёта TMDL (Total Maximum Daily Load) – нормативного показателя, устанавливающего общую максимальную суточную нагрузку на участок водного объекта или объект в целом (аналог нашим НДС и НДС), используются сертифицированные программные комплексы, ориентированные на индивидуальный подход для каждого водного объекта и каждого водопользователя [7]. В России до сих пор применяют расчётные методы начала 1950-х годов [8]. Вместо объёмных томов СКИОВО во всех водохозяйственных организациях должны появиться компьютерные информационно-вычислительные системы, оснащённые моделями "подведомственных" бассейнов и их участков. Они эффективнее и дешевле, чем неработающие СКИОВО. Переход к цифровому управлению в водном хозяйстве потребует радикальных изменений в подготовке кадров для отрасли.

Отдельного внимания заслуживает тема управления качеством вод водохранилищ, созданных на многих равнинных российских реках. Они превратились в огромные отстойники, аккумулирующие в донных отложениях значительную часть загрязняющих веществ. Научные исследования последних лет показали, что объём и химический состав отложений сейчас таковы, что при определённых физико-химических и гидрологических условиях в самом водохранилище эти загрязняющие вещества вновь могут переходить в водную толщу, вызывая её вторичное загрязнение [9]. Данные исследования пока не стали основанием для совершенствования системы мониторинга водохранилищ, что относится к насущным проблемам управления качеством вод [10]. Водный кодекс РФ уже в первоначальной редакции предписывал ведение "мониторинга состояния дна и берегов водных объектов, а также состояния водоохраных зон" (ст. 30, ч. 4, п. 5.2), но за последние 13 лет сдвигов в решении этой важнейшей задачи практически нет.

Надзорная деятельность. Работу Росприроднадзора в 2011–2015 гг. нельзя считать достаточно эффективной. На фоне кризисной ситуации по сбросу загрязнённых сточных вод в водные объекты, а нередко – на рельеф местности одна из основных задач ведомства состоит в том, чтобы увеличить поступление платежей за загрязнение водных объектов в бюджеты субъектов РФ. Это наглядно демонстрирует реактивную, а не превентивную политику. В ходе проверок важно выявлять максимально возможное количество нарушений и назначать соответствующие штрафы. Реформа контрольно-надзорной деятельности федеральных органов исполнительной власти, на-

чатая в конце 2016 г. и нацеленная на применение риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля и фокусировании усилий на объектах высокой экологической опасности [9], должна кардинально изменить ситуацию.

Система мониторинга и статистики. Тревожное положение при оценке воздействия на водные объекты различных видов хозяйственной деятельности вызывает существующая система статистического учёта. Мало того, что отсутствуют методики оценки неконтролируемого (диффузного) стока и вторичных загрязнений от донных осадков [11], слабо учитываются сбросы загрязняющих веществ из точечных, то есть контролируемых источников. Исходной информацией для статистики сбросов предприятиями загрязняющих веществ служат формы статистического учёта 2-ТП (водхоз), которые заполняют сами предприятия, причём достоверность сведений никак не проверяется. За редким исключением информация об объёмах забора воды, сброса сточных вод и концентрациях в них загрязняющих веществ заносится в эти формы предприятиями не на основе реальных измерений, которые по законодательству должны осуществлять специализированные сертифицированные лаборатории, а в результате элементарных вычислений. Исходя из данных о выпуске продукции и технических паспортов оборудования, рассчитываются объёмы потребления воды, сброса сточных вод и загрязняющих веществ, соответствующих этому выпуску. Вне сферы такого "учёта" остаются износ оборудования, из-за которого реальные показатели всегда хуже паспортных, нарушения штатного режима его работы, аварии, утечки, отклонения характеристик используемого сырья от норм, производство "левой" продукции и многое другое. Фактически экологический мониторинг негативного воздействия на окружающую среду даже контролируемых источников в стране отсутствует. При нынешних объёмах финансирования, численности природоохранных инспекторов и приборно-технологической базе надзорная система не в состоянии проводить такую работу. Между тем в 1990-е годы территориальные природоохранные органы, до 1996 г. входившие в систему Министерства охраны окружающей среды РФ, а в 1996–2000 гг. – в Госкомэкологии, достаточно успешно выполняли такой мониторинг; финансировалась эта работа через бюджетные целевые экологические фонды, ликвидированные в 2000 г.

Публикуемые данные не дают полного представления об источниках загрязнения водных объектов, так как содержат лишь качественные характеристики сточных вод: загрязнённые, очищенные и пр. Исследования показывают, что неконтролируемые диффузные источники

для многих водных объектов превышают объём загрязнений от контролируемых точечных источников нередко в 5–10 раз [12].

Научно-методическая база управления качеством вод, ориентирующаяся на показатели ПДК и интегральные индексы, устарела. В ней не уделяется должного внимания физико-химическим и гидробиологическим процессам формирования качества, взаимодействию компонентов водного объекта – водной массы, гидробиоты, донных отложений, прибрежной зоны. Кроме того, устарела методическая и приборная база мониторинга качества вод.

Не проводится мониторинг органических ксенобиотиков – чужеродных для живых организмов химических веществ, не входящих в естественный биотический круговорот, хотя в развитых странах количество определяемых ксенобиотиков с начала 1990-х годов активно растёт, проводятся мероприятия по регулированию их поступления в водные объекты. Сегодня насчитываются сотни тысяч видов ксенобиотиков, но методическая база оценки вредного влияния чужеродных организмов на экологическое состояние водных объектов и человека отсутствует.

Характерная особенность ряда ксенобиотиков – их высокая биологическая активность. Несмотря на низкие и сверхнизкие концентрации, воздействие таких химических соединений на обитателей водных объектов и человека через потребляемую питьевую воду значительно. Особенно существенна данная проблема для источников питьевого водоснабжения. Типовые системы водоочистки коммунальных сточных вод и подготовки питьевых вод не ориентированы на удаление таких веществ.

Учёт опасных загрязняющих веществ. При недостатке информации о реальном состоянии охраняемых водных объектов появляются весьма спорные документы, например распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р "Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды". В документе не пояснён термин "меры государственного регулирования". Однако более важен другой вопрос: в одном из разделов указаны 140 загрязняющих веществ и 17 стойких органических загрязнителей, в отношении которых применяются меры государственного регулирования, но вредных веществ в водных объектах и в воде рыбохозяйственного назначения, для которых установлены нормы ПДК, значительно больше, и эти списки пополняются. Как быть, если загрязняющее вещество найдено в концентрации, превышающей ПДК, но оно не входит в указанный перечень? И наоборот: концентрация вредного

вещества меньше ПДК, но оно входит в этот список – надо ли применять к нему "меры государственного регулирования"? Если надо, то какие? Наконец, номенклатура поллютантов не включает ряд опасных органических ксенобиотиков.

Мониторинг форм загрязняющих веществ и нефтепродуктов. Вещества в воде на микроуровне содержатся в нескольких фазовых формах: растворённая фаза компонентов, твёрдая минеральная или органическая фаза в виде взвешенных частиц, коллоидная органическая и планктонная фазы в водной массе. Размер коллоидов – от единиц до сотен нм. Важно, что при попадании в воду загрязняющего вещества в растворённой форме, то есть в виде ионов или молекул, начинается его перераспределение между фазами, присутствующими в воде: часть молекул или ионов загрязняющего вещества сорбируется на взвесах, поглощается крупными органическими молекулами или оседает на дно вместе с взвешенными частицами.

Когда говорят о концентрации какого-либо вещества в воде, как правило, имеют в виду среднюю величину нескольких частных концентраций – в водной массе, во взвесах разного вида (минеральных, органических), в органических коллоидах, донной массе и планктоне. В лучшем случае средняя величина – это сумма частных концентраций, в худшем – представлена только одной частной концентрацией, обычно соответствующей растворённой фракции.

Однако действие разных фаз на живую клетку или организм в целом различно. Наибольшую опасность представляют так называемые истинно растворённые вещества (молекулы или ионы), поскольку они легче проникают через защитную мембрану клетки. Формы, которые "поглощены" другими веществами (взвесами, коллоидами, большими молекулами), менее опасны. Это свойство не учитывается в нормативе ПДК.

Большинство взвешенных и коллоидных частиц обладает сорбционными свойствами. Поэтому взвешенные вещества не относятся к пассивной части качества вод, а являются концентраторами и переносчиками большинства загрязняющих веществ. При возрастающем количестве таких веществ важно знать концентрацию не только их растворённых форм, но и содержание во взвесах. Важно, что сорбционные свойства зависят от дисперсного состава частиц. Максимальными сорбционными свойствами обладают частицы размером менее 1 мкм.

Необходимо совершенствование системы мониторинга нефтепродуктов. После попадания в воду нефть перестаёт существовать как смесь компонентов: с ней происходят разнообразные химические, физико-химические, а также ме-

таболические превращения, осуществляемые гидробиотой. Однако в России величина ПДК разработана лишь для нефтепродуктов, относящихся к группе углеводов. Она не учитывает специфическую для отдельных углеводов токсичность, вариабельность состава исходной нефти, а также подверженность нефти и входящих в её состав углеводов превращениям в водной среде [10].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ КСЕНОБИОТИКОВ

В развитых странах уже более 20 лет проводят исследования органических ксенобиотиков в окружающей среде, обсуждают необходимость включения опасных ксенобиотиков, в частности некоторых лекарственных соединений, в перечень веществ, подлежащих обязательному мониторингу и регулированию.

Сбросы коммунально-бытовых и промышленных сточных вод — основные источники поступления ксенобиотиков в природную среду — водные объекты. Типичный состав коммунально-бытовых сточных вод крупных городов включает следующие группы соединений: поверхностно-активные вещества (ПАВ) с анионными и катионными группами; анионоактивные, катионоактивные и неионогенные ПАВ; отбеливающие вещества; лакокрасочные вещества; эмульгаторы; энзимы; мускусы и парфюмерные вещества; консерванты; пластификаторы; растворители; УФ-абсорбенты, лекарственные вещества, средства личной гигиены, стойкие органические загрязнители. В неочищенных сточных водах крупных городов развитых стран обнаруживается до 900–1000 представителей различных групп ксенобиотиков.

В 2009 г. сотрудники Института водных проблем РАН провели первые исследования по обнаружению органических ксенобиотиков — лекарственных веществ в источниках питьевого водоснабжения Москвы и крупных городов Приволжья (Нижний Новгород, Чебоксары, Казань). В 2009–2016 гг. было выявлено 52 фармацевтических вещества и 43 метаболита известных лекарств.

Хроматография и хромато-масс-спектрометрия — сегодня самые распространённые и часто используемые для идентификации органических ксенобиотиков методы химического анализа. Около 60% химических анализов в мире выполняются хроматографическими методами. С их помощью можно определить содержание супертоксикантов, в частности диоксинов, в объектах окружающей среды при крайне низкой концентрации этих веществ. Главная причина успеха — совершенная аппаратура, выпускаемая в развитых

странах. В России современные хроматографы и масс-спектрометры не производят.

В принципе возможна идентификация любых органических ксенобиотиков, находящихся в воде, в концентрациях 10 нг/дм³, а в ряде случаев — до 0,1 нг/дм³ при соответствующей пробоподготовке и выборе оптимального метода исследования. Идентификация соединений в воде позволяет формально определить их номенклатуру, структурные формулы и на основе полученных данных оценить токсическое действие вредного вещества, а в некоторых случаях — и пределы опасных концентраций даже при отсутствии нормированных значений ПДК для них [10]. С этой целью следует привлекать расчётные методы определения параметров токсичности вещества и его опасных концентраций, которые формируются на основе знаний структуры вещества и/или его физико-химических характеристик, а также информационных технологий, связанных с поиском сведений об опасности веществ в международных базах данных и регистрах. При этом используются:

- нормативные документы РФ и других стран, содержащие значения предельно или ориентировочно допустимых концентраций для различных веществ;
- списки особо опасных веществ (например, национальный перечень приоритетных веществ США — CERCLA);
- сериальные справочники по отдельным токсическим веществам, которые издаются Всемирной организацией здравоохранения (World Health Organization), Международной программой по химической безопасности (International Programme of Chemical Safety — IPCS);
- регистры (базы данных), формируемые международными и национальными организациями.

В разработанной системе оценки биологической опасности ксенобиотиков используются 14 международных и национальных баз данных и Программа прогноза биологической активности соединений по их структуре PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) [10].

Современная версия компьютерной программы PASS 2014 прогнозирует 7157 активностей на основе данных о 960 тыс. соединений. Средняя точность предсказания составляет 94,1% [13, 14]. Список прогнозируемых PASS видов биологической активности включает основные и побочные фармакологические эффекты, биохимические механизмы действия, специфическую токсичность, мишени в организме. Прогнозируемые виды биологической активности можно расклассифицировать по уровням действия: целостный организм, отдельные системы организма (например, нервная), отдельные органы, ткани, клетки,

субклеточные структуры, биохимические реакции или биомакромолекулы. Результатом прогноза в программе служат вероятности наличия и отсутствия конкретного вида активности.

Методы на основе обучающей выборки позволяют также прогнозировать и некоторые количественные характеристики токсичности. Например, по программе GUSAR [15] можно провести расчёт следующих экотоксикологических показателей:

- фактор биоаккумуляции;
- острая токсичность LD50 – средняя смертельная концентрация для тестируемых организмов;
- концентрация полумаксимального ингибирования роста клеток IC50.

Таким образом, при анализе качества природных вод, особенно тех, которые используются как источники питьевого водоснабжения, следует учитывать многокомпонентность загрязнения, потенциальное наличие синергизма и необходимости идентификации вещества при отсутствии формализованных и нормативных методик.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД И РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Недостатки нормативной базы оценки качества вод. Одна из важнейших задач систем мониторинга – оценка экологического риска загрязнения водных объектов для населения, гидробиоты и биоты в целом, а также для её отдельных элементов. Она должна стимулировать развитие социальных мероприятий, связанных с антропогенным воздействием на природные воды, например, экологического страхования и экономических механизмов управления водным хозяйством.

В России получило распространение экологическое нормирование с использованием ПДК, которое в мировой практике называется концепцией "нулевого" риска. Критерием допустимости загрязнения служит неравенство $C < \text{ПДК}$, где C – концентрация загрязняющего вещества в так называемом "контрольном створе". При условии $C \geq \text{ПДК}$ загрязнение относится к разряду недопустимых.

В нашей стране существуют две основные системы нормативов качества природных поверхностных вод: при водохозяйственном (ПДК_в) и рыбохозяйственном (ПДК_{вр}) использовании водных объектов. Каждая из них устанавливает единый норматив для всех водных объектов, несмотря на огромное различие физико-географических, климатических и социально-экономических условий. При этом рыбохозяйственные нормативы жёстче водохозяйственных. На практике именно их используют как основные нор-

мативы качества. Фактически качество сточных вод по ряду действующих нормативно-методических документов должно быть значительно лучше, чем воды питьевого назначения. Более того, нормативы по содержанию в них алюминия, свинца, цинка, меди даже выше, чем требования ГОСТа 6709-72 "Вода дистиллированная".

Современный российский бизнес и муниципальные предприятия ни технологически, ни экономически не готовы к выполнению действующих высоких стандартов. Технологически недостижимые, экономически неоправданные и экологически необоснованные жёсткие нормативы, вопреки намерениям законодательных органов, не улучшают, а ухудшают экологическую ситуацию. Появляется лазейка в виде временно допускаемых лимитов на сбросы. Процедура их назначения не установлена и чревата произволом и злоупотреблениями.

Критика рыбохозяйственных нормативов, распространяемых на все водные объекты страны, не является выражением каких-либо претензий к самому рыбному хозяйству как водопользователю. Рыбное хозяйство (рыболовство и рыбоводство) – один из важнейших видов хозяйственного использования водных объектов, где обоснованно предъявляются жёсткие требования к качеству воды. Оно испытывает немалые трудности из-за отсутствия чётко сформулированных условий определения статуса водного объекта (или его участка) как рыбохозяйственного и критериев его зонирования для участков нереста, нагула, промысла. При этом должен учитываться видовой состав рыбной фауны с выделением объектов, где обитают ценные виды.

В природоохранном законодательстве развитых стран, в частности в Европейском союзе, уже более 20 лет планомерно переходят к риск-ориентированному подходу (РОП) [16, 17]. Для каждого из загрязняющих веществ на основании информации о его свойствах определяются вероятность воздействия на живые организмы и возможные негативные эффекты, трансформация и состояние самого водного объекта. Требования к качеству отводимой воды учитывают фоновые концентрации, различающиеся для водных объектов, расположенных в разных физико-географических и климатических зонах, а в отдельных случаях принимаются во внимание их локальные особенности. Уровень допустимого риска учитывает экономическое состояние предприятий с использованием принципа НДТ. Только по результатам оценки рисков принимается решение о способах водоохраны и размере платежей за загрязнение.

Риск-ориентированный подход в регулировании качества вод. РОП к природоохранному регулированию отличается от традиционного подхода,

направленного на выявление и пресечение нарушений природоохранного законодательства субъектами хозяйственной деятельности, применение системы платежей и штрафов, привлечение к различным формам ответственности, а также ликвидацию последствий загрязнений окружающей среды [9]. РОП к регулированию качества вод на законодательном уровне в развитых странах реализован через ряд систем:

- систему требований к выдаче разрешений на осуществление хозяйственной деятельности для субъектов негативного воздействия;
- систему контрольно-надзорной деятельности природоохранных органов исполнительной власти при планировании и осуществлении проверок;
- систему регулирования рынка производителей и экспортёров химических веществ.

Ответственными за реализацию РОП в большинстве развитых странах являются органы исполнительной власти, в основном — министерства или агентства по охране окружающей среды. Такие агентства обычно разрабатывают процедуры оценок рисков для разных видов деятельности.

РОП в контрольно-надзорной деятельности используется для определения необходимой степени контроля. Методология контроля включает пять групп риск-факторов:

- сложность объекта воздействия: оценка вероятности существенного воздействия на одну или несколько сред (воздух, почва, вода); использование одного или нескольких технологических процессов; вероятность аварийных выбросов/сбросов; наличие в обращении потенциально опасных веществ; масштаб воздействия;
- входные и выходные потоки: состав и объём поступлений загрязняющих веществ, включая нормативы допустимых сбросов и выбросов; среда, подверженная воздействию (воздух, вода, почва); объём образования отходов; воздействие веществ на среду поступления;
- местоположение: близость к территории проживания населения; близость к особо охраняемым и иным природным территориям; чувствительность объектов приёма сбросов сточных вод; вероятность неочищенных сбросов в водную среду и наличие мер контроля; вероятность подтопления; расположение в границах зон, где качество атмосферного воздуха не соответствует целевым показателям;
- система менеджмента предприятия и её результативность: наличие или отсутствие системы экологического менеджмента, устанавливающей подходы к управлению негативным воздействием на окружающую среду, обслуживанию технического оборудования; компетентность персонала, регулярность и полнота обучения; наличие про-

цедур мониторинга, аудита и контроля; наличие планов действий в чрезвычайных ситуациях;

- степень соответствия нормативно-правовым требованиям.

Совокупность уровней риска позволяет при помощи схемы оценки выявить итоговый уровень риска для конкретного предприятия и установить соответствующую величину платы для предприятия и издержек регулирующего органа на осуществление надзорной деятельности [18].

Риск-ориентированные системы используются также при регулировании рынков химической продукции. Большинство из них базируется на регламенте REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals), действующем в Европейском союзе. Он нацелен на контроль за оборотом химических веществ и минимизацию вреда от их использования на здоровье человека и окружающую среду. Контроль за выполнением закона в ЕС осуществляет специально учреждённое ведомство — Европейское химическое агентство.

Принципиальный подход к оценке химической безопасности вещества включает три составляющие [17]:

- оценка опасности — сбор и анализ информации о физико-химических и биологических свойствах вещества, способах производства и использования, воздействии на окружающую среду; в случае, если вещество в результате проведённой оценки не попадает в классификацию опасных и не является ни стойким, ни склонным к биоаккумуляции, ни токсичным, процесс оценки завершается;
- оценка воздействия — определение степени влияния вещества на человека и окружающую среду на всех этапах его жизненного цикла, учитывая способы производства и использования;
- характеристика риска — сравнение уровня воздействия вещества с безопасными пороговыми значениями для человека и окружающей среды.

Чтобы оценить опасность, необходимо определить все стадии жизненного цикла вещества, что позволяет установить границы проведения оценки рисков. С этой целью определяются способы использования вещества и виды его поступления в окружающую среду на каждой стадии жизненного цикла, его воздействие на возможные объекты.

Одно из основных требований REACH — возложение ответственности за оценку рисков и опасности химических веществ на производителей и поставщиков. Согласно требованиям, они обязаны оценить безопасность для здоровья человека и окружающей среды химических веществ, поставляемых на рынки стран ЕС в составе продукции или в чистом виде, если их количество превышает одну тонну.

Оценка степени воздействия вещества на биообъекты — это фундамент оценки экологического риска, она рассчитывается как отношение прогнозируемой концентрации вещества в водном объекте на основе моделей (PEC) к прогнозируемой безопасной концентрации вещества (PNEC) в воде. Величина PNEC определяется в ходе лабораторных тестов на биообъектах. Объекты оценки выбираются путём моделирования в зависимости от особенностей вещества и его миграционного цикла.

По итогам оценки степень риска исследуемого вещества для каждого из компонентов окружающей среды определяется по следующим критериям [19]:

- $PEC/PNEC \leq 0,1$ — риск для окружающей среды несущественен;
- $0,1 < PEC/PNEC \leq 1$ — риск для окружающей среды низкий;
- $1 < PEC/PNEC \leq 10$ — риск для окружающей среды средний;
- $PEC/PNEC > 10$ — риск для окружающей среды высокий.

Эффективность европейского законодательства REACH. Сейчас на территории Европейского союза в обороте находится более 100 тыс. химических веществ, из которых 13 428 зарегистрированы и прошли оценку риска, 1,5 тыс. веществ вызывают высокую озабоченность с точки зрения безопасности, 168 веществ находятся в перечне веществ-кандидатов. Более 520 химических веществ запрещены или ограничены в доступе на рынок стран ЕС (соединения мышьяка, кадмия, свинца, бромированные бифенилы, нонилфенолы).

С введением REACH на 11,5% (19 млн т) сократился объём производства опасных веществ, в частности, на 10% (5 млн т) — веществ, представляющих серьёзную хроническую токсическую опасность.

Внедрение REACH обошлось производителям Евросоюза, по разным оценкам, в 2–7 млрд евро, в первую очередь за счёт затрат на тестирование и процедуру регистрации химических веществ.

При этом суммарная экономическая выгода от внедрения REACH составляет 6,9–34,4 млрд евро в год (табл.)

* * *

Таким образом, приходится констатировать, что система управления водным хозяйством в России нуждается в поэтапном реформировании. При этом приоритетная задача — пересмотр подходов к управлению водохозяйственными бассейнами, нормированию негативного воздействия на водные объекты, ведению контрольно-надзорной деятельности, мониторингу расширенного перечня опасных веществ в сбросных сточных водах и водных объектах, а также к самим методам мониторинга. Очевидно, что соответствующие направления должны быть заложены в стратегию развития водного хозяйства и сопровождаться поэтапными мероприятиями. Разработка научных основ этой деятельности — важнейшая задача гидрологии и смежных наук о водных ресурсах и управлении ими.

Переход к риск-ориентированному подходу при выдаче разрешений на сброс сточных вод и водопользование, а также при контрольно-надзорной деятельности позволит сфокусироваться на наиболее значимых объектах, в том числе водных, представляющих повышенную опасность для окружающей среды. Такая система нуждается в детальном методическом и информационно-аналитическом сопровождении, которое может быть заимствовано у агентств по охране окружающей среды развитых стран.

В реалиях российского законодательства не следует ждать улучшения качества воды лишь путём ужесточения действующих нормативов ПДК. В оценке качества вод следует использовать опыт развитых стран в этой сфере регулирования и учитывать не только общепринятые в нашей стране показатели, но и приоритетные загрязняющие вещества с учётом географических, производственных и других региональных особенно-

Таблица. Оценка ежегодных выгод от внедрения REACH для экономики ЕС

Выгоды	Диапазон оценки, млрд евро за 2014 г.
Устранение последствий загрязнения	0,5–1,7
Снижение стоимости водоподготовки	3,4–10,9
Снижение случаев онкологических заболеваний	1,2–3,8
Снижение случаев неонкологических заболеваний	1,4–10,8
Снижение затрат системы здравоохранения	0,6–2,4
Суммарные преимущества для здоровья общества ЕС	6,9–34,4

стей. Традиционные методы оценки качества вод должны уступить место более эффективным, позволяющим прогнозировать различные виды опасности соединений, острые количественные показатели токсичности, их синергическое действие в многокомпонентной водной среде.

Часто повторяемый тезис о водном богатстве России, будучи справедливым "в общем и целом", не должен заслонять серьёзные проблемы управления качеством вод в водном хозяйстве страны.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0147-2019-0004) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-05-00842).

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилищное хозяйство в России. 2016 г. Федеральная служба государственной статистики. http://www.gks.ru/bgd/regl/b16_62/Main.htm
2. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2016 году. Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017.
3. Распоряжение Правительства РФ от 27 августа 2009 г. № 1235-р "Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года". <http://gov.garant.ru/SESSION/PILOT/main.htm>
4. Государственный доклад "О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году". М.: Минприроды России; НИИ-Природа, 2016.
5. Государственный доклад "О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2015 году". http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/o_sostoyanii_i_ispolzovanii_vodnykh_resursov_rossiyskoj_federatsii/
6. О финансировании ФЦП "Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 годах". Пресс-служба Минприроды России. 2017. 25 апреля.
7. Guidance for Water Quality-Based Decisions: The TMDL Process. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1991.
8. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 17 декабря 2007 г. № 333. <http://docs.cntd.ru/document/902083726>
9. Доклад Федеральной службы по надзору в сфере природопользования об осуществлении и эффективности государственного контроля (надзора) за 2016 год. <http://rpn.gov.ru/node/686>
10. Научные основы создания систем мониторинга качества природных поверхностных вод / Под ред. Г.М. Баренбойма, Е.В. Веницианова, О.П. Авандеевой. М.: Научный мир, 2016.
11. Веницианов Е.В., Кирпичникова Н.В., Щеголькова Н.М. Разработка интегральных критериев выделения потенциально опасных зон донных отложений водохранилищ // Водное хозяйство России. 2016. № 6. С. 27–39.
12. Гордин И.В. Кризис водоохраных зон России. М.: Физматлит, 2006.
13. Filimonov D.A., Lagunin A.A., Glorizova T.A. et al. Prediction of the biological activity spectra of organic compounds using the pass online web resource // Chemistry of Heterocyclic Compounds. 2014. V. 50. № 3. P. 444–457.
14. Filimonov D.A., Poroikov V.V. Probabilistic approach in activity prediction // Chemoinformatics Approaches to Virtual Screening. Cambridge (UK): RSC Publishing, 2008. P. 182–216.
15. Lagunin A., Zakharov A., Filimonov D., Poroikov V. QSAR modelling of rat acute toxicity on the basis of PASS prediction // Molecular informatics. 2011. V. 30. P. 241–250.
16. General Report 2015. European Chemicals Agency. Helsinki, 2016.
17. Dara L. A Strategic approach to risk based regulation by the EPA, Ireland. http://risksummit.eu/wp-content/uploads/2013/03/risk-based-regulation-by-the-epa-ireland_dara-lynott.pdf
18. Risk and Regulatory Policy: Improving the Governance of Risk by OECD Reviews of Regulatory Reform. 2010. <http://regulatoryreform.com/wp-content/uploads/2015/02/oecd-risk-and-regulatory-policy-2010.pdf>
19. Meriç S., Ekmekyapar F., Varol G. Environmental Risk Assessment of 20 Human Use Antibiotics in Surface Water and Urban Wastewater // https://www.academia.edu/37882912/Environmental_Risk_Assessment_of_20_Human_Use_Antibiotics_in_Surface_Water_and_Urban_Wastewater

ASSESSMENT OF MODERN APPROACHES TO SURFACE WATER QUALITY MANAGEMENT AND PROTECTION

© 2019 V.I. Danilov-Danilyan*, E.V. Venitsianov**,
G.V. Adzhienko***, M.A. Kozlova****

Water Problems Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**E-mail: vidd38@yandex.ru; **E-mail: eugeny.venitsianov@gmail.com;*

****E-mail: adgi89@bk.ru; ****E-mail: mblshok@mail.ru*

Received 21.06.2019

Revised version received 29.07.2019

Accepted 16.09.2019

This study analyzes the current state of the quality of surface waters in Russia. The main problems of quality management are identified. One out of every two residents of the Russian Federation is forced to use drinking water that does not meet the established standards for a number of indicators. The economic mechanism of natural water quality management is not aimed at solving the problem of its steady improvement, its outdated and controversial legislative and regulatory framework for governance, its low efficiency of supervisory activities, the imperfection of the monitoring and statistics system, or insufficient attention to the scientific and methodological base of quality management. Methods of regulation in Russia were formed more than 50 years ago. Modern approaches to monitoring the quality of surface waters, which have been intensively developed in developed countries in recent years, are not used. These include the analysis of xenobiotic content, the assessment of the influence of diffuse sources of water bodies' pollution, and the use of modern mathematical models in regulating water quality. The necessity of the transition to a risk-based approach in the regulation of water quality is substantiated, proving the zero-risk concept currently in use does not achieve water quality targets.

Keywords: natural water quality, quality management, quality standards, risk-based management approach.