

УДК 504.064

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ¹

© 2020 г. В. О. Полянин*

Институт водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

**e-mail: vlad_polianin@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.02.2020 г.

После доработки 20.03.2020 г.

Принята к публикации 20.03.2020 г.

Рассмотрена общая идеология организации мониторинга водных объектов, которая предполагает как более эффективное использование имеющихся данных и систем наблюдений, так и проведение дополнительных исследований и организационных мероприятий, направленных на учет факторов формирования качества природных вод под воздействием источников диффузного загрязнения.

Ключевые слова: диффузное загрязнение, мониторинг, качество вод, хозяйственная деятельность.

DOI: 10.31857/S0321059620050156

ВВЕДЕНИЕ

Все мероприятия по охране окружающей среды, регулированию источников негативного воздействия на качество воды и управлению речными водосборами так или иначе должны опираться на данные мониторинга. Диффузное загрязнение природных вод формируется многочисленными источниками (видами хозяйственной деятельности), каждый из которых обладает своей спецификой, характером проявления и набором загрязняющих веществ (ЗВ), поэтому задача создания единой системы наблюдений за этим видом загрязнения нецелесообразна в практической плоскости. В то же время действующая государственная система мониторинга качества воды и экологического состояния водных объектов не позволяет в полной мере идентифицировать источники и выполнять количественную оценку поступления ЗВ диффузной природы.

Государственный мониторинг поверхностных вод суши — часть мониторинга окружающей среды. Порядок создания и ведения государственного мониторинга, распределение функций и обязанностей ведомств определены рядом нормативных правовых актов, включая документы государственного (ГОСТы) и ведомственного (руководящие документы, руководства, инструкции и т.д.) уровня, определяющих принципы и порядок организации и функционирования системы мониторинга [1, 6–8].

Система государственного мониторинга водных объектов функционирует в следующих целях [5]:

своевременное выявление и прогнозирование негативного воздействия вод, а также развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработка и реализация мер по предотвращению негативных последствий этих процессов;

информационное обеспечение управления в области использования и охраны водных объектов, в том числе в целях государственного надзора;

оценка эффективности осуществляемых мероприятий по охране водных объектов.

Достоинства государственной наблюдательной сети Росгидромета — систематичность и достаточная продолжительность режимных наблюдений, что позволяет иметь большие ряды данных в пунктах и выявлять многолетние тенденции изменения уровня загрязненности воды, а также приоритетные по уровню загрязненности водные объекты и их участки и прослеживать тенденции изменения качества воды. Это единственная система, которая более 50 лет предоставляет потребителям информационные материалы, обобщенные и систематизированные как по территориям субъектов федерации и управлениям гидрометеослужбы, так и по бассейнам крупных рек и стране в целом.

Однако слабое место действующей системы государственного гидрохимического и гидробиологического мониторинга — недостаточная информационная поддержка при принятии оперативных решений по снижению негативного

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема 0126-2019-0038, государственная регистрация № АААА-А18-118061800142-8).

воздействия диффузных источников и при регулировании качества природных вод, т.е. перечисленные выше цели реализуются не полностью.

Основные причины, препятствующие оценке влияния диффузных источников на основе информации государственной наблюдательной сети, следующие:

недостаточная частота отбора и анализа проб воды в половодье и дождевые паводки, т.е. в периоды, когда диффузное загрязнение самое интенсивное;

низкая обеспеченность гидрохимических наблюдений данными о расходах воды, что создает сложности в количественной оценке поступления загрязнений.

По данным Гидрохимического института за 2017 г. [3], из действующих в бассейне р. Волги 318 постов гидрохимических наблюдений на водотоках, входящих в систему Росгидромета, подавляющее большинство относится к 3-й (72%) и 4-й (26%) категории с частотой наблюдений в лучшем случае 1–2 раза в месяц. Кроме того, ~40% общего количества постов не обеспечены в полной мере надежными гидрометрическими наблюдениями, поэтому точные оценки объемов поступления ЗВ или весовых расходов (г/л) для таких постов сильно затруднены из-за следующих проблем:

отсутствие мониторинга хозяйственной деятельности на контролируемом водосборе, неполнота данных об объемах и качестве вод, поступающих от точечных источников загрязнения;

распыленность ответственности по сбору и анализу исходных данных по качеству воды и антропогенному воздействию на водосборную территорию между разными ведомствами (Росгидромет, Росводресурсы, Росприроднадзор) и неразвитость единого информационно-правового поля.

Преодоление этих проблем само по себе уже положительный момент при организации мониторинга природных вод, и это будет способствовать более эффективному управлению качеством воды. Однако для обеспечения полноценной информационной поддержки при регулировании диффузного загрязнения недостаточно модернизации действующей системы.

ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ И ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Для первичного выявления воздействия расщепленных источников загрязнения на качество воды и/или выделения “подозрительных” участков водного объекта с точки зрения диффузного загрязнения может быть использована информация, поступающая с государственной и ре-

гиональных сетей инструментальных наблюдений за качеством водных объектов и состоянием других элементов окружающей среды, а также в результате визуальных инспекционных обследований, выполняемых региональными экологическими ведомствами, надзорными и контролирующими органами в пределах водосборных территорий.

Прямыми признаками, по которым можно судить о наличии диффузного загрязнения на рассматриваемом водном объекте и/или его водосборной территории с использованием информации режимной наблюдательной сети и государственной статистической отчетности, следует считать следующие:

ухудшение качества воды в отсутствие явно выраженного сосредоточенного загрязнения (выпусков сточных вод, формируемых промышленными предприятиями, очистными сооружениями хозяйственно-бытовой и ливневой канализации, дренажными водами);

выраженное ухудшение качества воды в периоды повышенной водности: половодья, дождевые и снего-дождевые паводки (особенно характерно для водотоков);

появление специфических запахов воды, прежде всего навозного, нефтяного, химического;

обнаружение в водном объекте ЗВ в концентрациях, заведомо превышающих потенциальные загрязняющие возможности источников сосредоточенного загрязнения;

наличие в водном объекте ЗВ, не характерных для состава сточных вод из источников сосредоточенного загрязнения на водосборной территории;

высокая загрязненность грунтовых вод, почв и снежного покрова, особенно на урбанизированных территориях, автодорогах и вблизи промышленных предприятий и пр.

К косвенным признакам диффузного загрязнения или высокого риска такого загрязнения, которые выявляются при непосредственном обследовании водного объекта, его берегов и водосборной территории (характерные примеры – на рис. 1–4), относятся:

визуально различимые пятна от горюче-смазочных материалов, топливных смесей на поверхности воды, твердых покрытиях, почве;

наличие складированных открытым способом, рассыпанных по поверхности земли отходов производства, навоза и помета, сыпучих строительных и лакокрасочных материалов, химикатов;

наличие участков с нарушенным почвенным покровом, открытой почвой в отсутствие травянистой и кустарниковой растительности вдоль берегов, осыпающиеся, оползающие берега, рытвины и промоины на склонах;



Рис. 1. Ручей в зоне воздействия Среднеуральского металлургического завода (бассейн р. Камы, лето 2018 г.). В верхнем слое в результате выбросов в атмосферу – значительное количество металлов и серы. Сильное угнетение растительности, отсутствие трав и кустарников. Пример идентификации диффузного загрязнения при визуальном обследовании (по материалам РосНИИВХ).



Рис. 2. Животноводческое предприятие в непосредственной близости от р. Толкишки (бассейн Куйбышевского водохранилища) с неудовлетворительным состоянием навозохранилищ и нарушением агротехнологии утилизации побочных продуктов производства. Пример выявления признаков диффузного загрязнения на основе данных дешифрирования космических снимков (по материалам ИНОЗ РАН).

свободно пасущиеся животные в поймах рек и ручьев, имеющие доступ к воде;

шлейфы мутной воды вдоль берега или на акватории, формирование первичной ручейковой сети с высоким содержанием взвешенных в воде веществ (рис. 3);

высокое содержание пыли в воздухе, на поверхности твердых покрытий, листве, снежном покрове;

общее неудовлетворительное санитарное состояние территории, угнетенность растительного покрова и пр.

Данные дистанционного зондирования, а также интернет-порталов ведомств могут быть полезными при проведении мониторинга хозяйственного использования земель на обширных территориях. Такие объекты, как дороги, застроенные территории, реки и озера, легко видны, и общие типы землепользования (например, городское, сельское хозяйство или лес) могут быть идентифицированы, отображены и использованы хотя бы на подготовительном этапе получения более подробных данных (рис. 2). Дистанционные методы позволяют определить те показатели, которые контролируются визуально; например, тип и густоту растительности на исследуемой территории или даже вид сельскохозяйственных культур.

Одним из перспективных видов получения визуальной дистанционной информации о наличии признаков диффузного загрязнения может служить использование аэрофотосъемки с привлечением беспилотных летательных аппаратов, позволяющих получать более высокое разрешение

(рис. 4). Одно из дополнительных преимуществ – высокая автономность использования, позволяющая проводить наблюдения необходимой частоты и за любую интересующую дату.



Рис. 3. Поток воды с высоким содержанием взвешенных веществ и нефтепродуктов на участке строительства автодороги в обход г. Одинцово (весна 2013 г.). Пример идентификации источника диффузного загрязнения, полученной путем визуального обследования водосборной территории р. Чаченки (бассейн р. Москвы).



Рис. 4. Участок поймы притока р. Грязевы (бассейн р. Истры в районе г. Дедовска) с нарушенным почвенным покровом и следами спецавтотехники – хорошо видимых признаков диффузного загрязнения. Пример выявленных признаков в ходе аэрофото-съемки с использованием беспилотного летательного аппарата (весна 2015 г.).

Данный подход может эффективно применяться при оперативном мониторинге водосборов как государственными надзорными органами и федеральными агентствами, так и в случае контроля отдельными предприятиями и организациями интересующей их территории.

Поскольку ни по одной программе мониторинга не могут быть измерены все показатели на стольких участках и так часто, как хотелось бы, для оценки воздействия диффузного загрязнения, особенно для больших бассейнов, следует использовать также возможности математического моделирования и геоинформационных технологий.

Математические модели бывают необходимы и очень полезны при оценке возможных альтернативных вариантов при прогнозировании качества воды и выявления тенденций его возможного изменения с течением времени. Моделирование позволяет проводить имитационные расчеты с применением возможных сценариев изменения климата, характера землепользования, интенсивности антропогенной нагрузки или внедрения водоохранных мероприятий. Таким образом, моделирование может прогнозировать будущий отклик системы на внешние воздействия, слишком многофакторные или трудоемкие для эффективного мониторинга. Моделирование предоставляет средства для сбора, представления и проверки текущей информации, а также позволяет определить направления дальнейших исследований.

Следует четко осознавать, что моделирование также технически сложный процесс, требующий тщательной обработки очень большого массива данных, а также больших объемов подготовитель-

ных работ. Применение моделей в отсутствие или при недостатке данных наблюдений затрудняет калибровку моделей и может способствовать неопределенности результатов модели, которые могут поставить под угрозу полезность моделирования для принятия управленческих решений. Успешное математическое моделирование возможно только в том случае, если подход должным образом согласован со сбором, обработкой данных и другими методами оценки характеристик всего бассейна. Если и концептуальная модель, и исходные данные согласованы и надежны, то результаты должны быть сопоставимы. Для получения оптимального результата мониторинг и моделирование должны использоваться совместно [10].

В работе [4] продемонстрированы результаты использования математического моделирования для описания пространственно-временных закономерностей формирования стока тяжелых металлов (на примере меди) для бассейна Нижнекамского водохранилища, который включает в себя почти полностью территорию Республики Башкортостан, а также частично территории Татарстана, Удмуртии, Челябинской и других областей. Следует отметить, что выбор объекта исследований обусловлен наличием подробных данных режимного гидрохимического мониторинга в бассейне р. Камы, а также данными по пространственному загрязнению почв тяжелыми металлами, обобщенные в виде карты в атласе региона.

Официальная государственная статистика может дать представление о тенденциях изменения качества воды, экологическом состоянии водных объектов, применяемых технологиях, объеме вносимых удобрений, видах землепользования, категориях земельных участков и пр. Часть информационных материалов посвящена отдельным ЗВ или средам (почвам, воде, воздуху, снежному покрову пр.); например: ежегодники загрязнения почв, радиационной обстановки на территории РФ, ежегодник мониторинга пестицидов в отдельных природных средах. Данные по отдельным участкам и населенным пунктам содержатся в обзорах загрязнения окружающей среды, ежегодно выпускаемых региональными управлениями Росгидромета, в отчетах профильных министерств и ведомств областного уровня (Росприроднадзор, Минсельхоз, Росводресурсы и др.). Однако в большинстве случаев информация обобщается на общегосударственном или, в лучшем случае, на региональном уровне (субъекты РФ) и недостаточно подробно, чтобы можно было судить о наличии диффузного загрязнения. Такая информация может быть полезна для предварительной оценки состояния речного бассейна, приоритетных ЗВ как в нем самом, так и на его водосборной территории. Дополнительная ин-

формация о конкретных бассейнах рек может быть частично получена из данных специализированных исследований, выполненных в рамках разработки нормативов допустимого воздействия и схем комплексного использования и охраны водных объектов.

Имеющиеся результаты обследования водных объектов, а также карты землепользования, аэрофотоснимки, спутниковая информация могут предоставить быстрый обзор возможных нагрузок в пределах речного водосбора. Оценивая сложившееся экологическое состояние водного объекта, а также выполняя экспертную оценку возможных рисков (в том числе на основе моделирования), стороны, ответственные за мониторинг, могут решить, какие действия по мониторингу имеют приоритет. Это может быть сделано с применением концепции “ожидаемого ущерба”, т.е. установления, к каким негативным последствиям (экологическим, социальным, экономическим) может привести недостаток информации в отсутствие мониторинга (включая последствия неоптимальных решений).

При наличии признаков диффузного загрязнения на конкретном водном объекте целесообразно наличие более обоснованных подтверждений этого, что можно получить только инструментальными методами и при лабораторном анализе проб воды. Отбор проб при этом следует проводить по учащенной временной сетке в периоды года, когда источники диффузного загрязнения проявляют себя наиболее активно (как правило, это многоводные фазы водного режима) и снова переходить на обычную частоту наблюдений, когда их влияние прекращается. Это повысит “гибкость” существующей системы наблюдений при относительно небольших дополнительных затратах.

Проведенные под руководством Института водных проблем РАН исследования условий формирования диффузного загрязнения на водосборных территориях пилотных водных объектов в разных частях Волжского бассейна в рамках разработки Концепции по снижению диффузного загрязнения р. Волги показали наличие трех характерных фаз гидрологического режима с различными характеристиками поступления ЗВ с диффузным стоком: начало, максимальная фаза и спад весеннего половодья. По этой причине для действующих пунктов наблюдений, характеризующих водосборную территорию с признаками наличия диффузного загрязнения, рекомендуется обеспечивать как минимум 3 дополнительных отбора проб воды (по одному для каждой фазы) во время весеннего половодья. Выполнение этих работ можно возложить как на организации, действующие в системе Росгидромета, так и на региональные органы власти, ответственные за ло-

кальный мониторинг окружающей среды при условии, что данные режимных наблюдений федеральной сети будут доступны в оперативном режиме на региональном уровне, т.е. будет создано единое информационное поле.

Согласно исследованиям РосНИИВХ, для предварительной оценки диффузной нагрузки на водосбор, расположенный в зоне техногенного воздействия промышленного предприятия, следует включить в программу мониторинга отбор проб снега перед началом снеготаяния для анализа накопления маркерных веществ, выбрасываемых в атмосферу, которые фиксируются в пробах воды. Такой отбор целесообразно проводить по крайней мере на двух площадках, расположенных вблизи границ санитарной зоны: по преимущественному направлению ветра и по наименее вероятному. Эти недорогостоящие и не требующие специального оборудования процедуры позволят оценить актуальные годовые массы маркерных ЗВ, поступающих на водосборную площадь конкретного водного объекта (малой реки) с выбросами в атмосферу. Для оценки воздействия загрязненного промышленными выбросами водосбора на качество воды в реке, включая накопленный экологический ущерб (для предприятий, функционирующих не один десяток лет отделить актуальный от накопленного очень трудно), следует по тем же точкам проводить отбор проб почв после схода снега и перед установкой снежного покрова.

ПОДХОДЫ, ОРИЕНТИРОВАННЫЕ НА СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для мониторинга диффузного загрязнения рекомендуется применять поэтапный (пошаговый) подход, который требует определения и согласования приоритетов мониторинга с последующим постепенным переходом от самой общей оценки масштабов диффузного загрязнения, которую возможно выполнить на основе существующих сетей государственного и регионального мониторинга (действующих систем наблюдений), к более точным оценкам, которые можно получить только путем организации специальных наблюдений на пилотных водосборах. Такой поэтапный подход способствует более осмысленному определению потребностей в информационном и организационном обеспечении и позволяет разрабатывать более эффективные программы мониторинга, что доказано многолетним опытом многих развитых стран [9].

В силу особенностей формирования диффузного загрязнения организация мониторинга в целях получения более точных количественных оценок требует разработки подходов, учитывающих гидрометеорологический режим водного

Таблица 1. Типы ЗВ и определяющие их факторы (адаптировано по [10])

Тип ЗВ (источника)	Параметры мониторинга
Взвешенные вещества	
почвенная эрозия	Обработка почв, посадка растений и сбор урожая, практики, предотвращающие эрозию почв, атмосферные осадки
эрозия берегов	Расходы воды, морфометрические характеристики речного русла, увлажнение склонов, прибрежная растительность, атмосферные осадки
Фосфор	Утилизация навоза, поголовье скота, применение удобрений, почвенные пробы
Азот	Внесение навоза и удобрений, культивирование бобовых культур, движение грунтовых вод
Пестициды	Интенсивность и сроки внесения пестицидов, атмосферные осадки
Патогенные микроорганизмы	Поголовье скота, выпас животных, состояние прибрежной территории, огораживание пастбищ, утилизация навоза Количество домашних любимцев, диких животных и водоплавающей птицы, состояние и обслуживание септиков и канализационных сетей, незаконные сбросы сточных вод и подключения
Растворы солей	Время и количество внесенных антигололедных реагентов, объемы поставок, месторасположение и километраж дорог, подвергаемых обработке реагентами, возвратные воды от ирригации
Тяжелые металлы	Движение транспортных средств, дорожная инфраструктура, мытье и чистка улиц, наличие и состояние дорожной ливневой канализации
Загрязненный ливневой сток с городских территорий	Площадь трудно проницаемых покрытий, атмосферные осадки, состояние ливневой канализации

объекта, а также хозяйственную деятельность в пределах водосборной территории [3, 12].

Хозяйственная деятельность – ведущий фактор диффузного загрязнения, которое сильно меняется в зависимости от местоположения (распределения) источников на водосборной территории, режима их функционирования и времени года. Диффузное загрязнение может определяться и рядом природных процессов, таких как выветривание горных пород, растворение почвенных минералов и др., но в настоящей работе они не рассматриваются.

Для установления связи между источниками загрязнения и наблюдаемым качеством воды в пункте контроля и/или экологическим состоянием водного объекта необходимо отслеживать виды деятельности на водосборной территории, которые генерируют ЗВ, а также ряд дополнительных параметров для понимания механизмов и причин загрязнения, измерять зависимые переменные (показатели качества воды) и наблюдать за независимыми переменными (хозяйственной деятельностью). Поскольку качество воды в водном объекте определяют не столько типы хозяйственной деятельности в пределах речного бассейна, сколько применяемые технологии землепользования, технологические процессы и

природоохранные мероприятия, сроки их выполнения, то на практике такого рода мониторинг не должен отождествляться с учетом только видов землепользования или со статической мозаичной картиной типов земель, почвенного покрова и растительности, которую можно увидеть, например, на спутниковом изображении. Важно учитывать динамические процессы, отвечающие за появление ЗВ во времени и пространстве.

Примеры ЗВ и общие соответствующие им хозяйственные мероприятия, параметры состояния водного объекта и его водосбора и процессы, подлежащие мониторингу, приведены в табл. 1.

При организации мониторинга в системе “водный объект – хозяйственная деятельность на водосборной территории” следует принимать во внимание, что различные ЗВ часто обладают спецификой.

Характерным примером могут быть биогенные элементы в природе и соответствующие показатели качества воды, принятые в практике гидрохимического мониторинга. Увеличение в воде содержания аммонийного азота может происходить одновременно по нескольким причинам: в результате сосредоточенного сброса сточных вод с очистных сооружений канализации, поступления органического вещества с близлежащей пло-

щадки складирования навоза или по мере разложения органики, образующейся в результате развития фитопланктона на расположенном выше по течению водохранилище. Нитраты обладают большой миграционной способностью, и поэтому при оценке их выноса, например с сельскохозяйственного водосбора, необходимо отслеживать их динамику не только в поверхностных, но и в грунтовых водах. Контроль за фосфатами должен сопровождаться одновременно мониторингом эрозионных процессов на водосборе и определением его содержания во взвешенных веществах.

Мониторинг хозяйственной деятельности позволяет максимально объективно интерпретировать изменения качества воды в водных объектах, действенность тех или иных природоохранных мероприятий.

Этот вид мониторинга применяется в целях определения:

факторов антропогенного воздействия и видов землепользования, практикуемых в пределах водосборной территории;

субъектов хозяйственной деятельности, ведущих ее в нарушение водоохранного и санитарно-экологического законодательства, а также технологий и внутриведомственных стандартов;

полноты и масштабов выполнения природоохранных мероприятий, а также оценки их эффективности.

Для выявления факторов диффузного загрязнения требуется информация как о пространственной, так и временной изменчивости хозяйственной деятельности.

Мониторинг должен охватывать всю территорию формирования водных ресурсов и качества воды в конкретной точке отбора проб. Отдельным частям водосбора может быть уделено более пристальное внимание в зависимости от целей исследования и условий формирования качества воды.

Основной принцип выбора частоты наблюдений заключается в том, чтобы временной интервал между сроками отбора проб был достаточным для объяснения происходящих изменений качества воды. Частота наблюдений за динамическими параметрами должна устанавливаться в зависимости от типа и степени влияния параметра на измеренные показатели качества воды.

В целях эффективного сопоставления данных программа мониторинга должна учитывать пути загрязнения и время отклика качества воды на происходящие воздействия на водосборную территорию. В таких случаях сроки должны устанавливаться как можно более гибко, однако эта гибкость не должна влиять на возможность статистической обработки получаемых данных.

При выборе частоты наблюдений рекомендуется многоуровневый подход к мониторингу.

Уровень 1. Общая характеристика: первоначальный “снимок” структуры землепользования, почвенно-растительного покрова с учетом относительно статичных параметров (по крайней мере по отношению к периоду проекта), таких как водные объекты, шоссе, непроницаемые поверхности и весь широкий спектр вариантов использования городских, сельскохозяйственных и лесных земель.

Уровень 2. Ежегодное обследование водосборной территории для ежегодно меняющихся характеристик, таких как тип сельскохозяйственных культур.

Уровень 3. Еженедельные наблюдения или записи в журнале для определения конкретных даты/времени критических действий, таких как внесение навоза или гербицидов, обработка почвы, строительство и уборка улиц.

Уровень 4 (количественный). Сбор данных о нормах и количестве (например, нормах применения питательных веществ или гербицидов, количество животных на пастбище, площадь выруб лесов, интенсивность движения транспорта).

Ответственность за создание и ведение проектов мониторинга диффузного загрязнения должна быть возложена на институциональный механизм с четко определенными функциями и единым центральным компетентным органом, который координирует всю деятельность в рамках реализации проектов. Подходящий институциональный механизм на федеральном и региональном уровне должен обеспечивать сотрудничество между различными правительственными организациями, частным сектором и другими заинтересованными сторонами. При разработке и реализации программ мониторинга диффузного загрязнения водных объектов ключевой момент — постоянное взаимодействие и консультирование с учреждениями и ведомствами, отвечающими за различные аспекты управления окружающей средой и производственными процессами на местах (на водосборной территории).

Реализацию программы мониторинга следует анализировать для своевременного выявления и устранения возможных ошибок.

Программа мониторинга должна иметь конкретные цели. Среди них должны быть как минимум следующие:

а) выявление приоритетных ЗВ (показателей качества воды), поступающих с территорий, имеющих конкретное хозяйственное освоение (сельскохозяйственные угодья, городская застройка, промышленные площадки, строительные работы и др.);

б) определение условий и степени влияния отдельных видов хозяйственной деятельности на качество воды и экологическое состояние дренирующей территории освоения водных объектов;

в) определение эффективности водоохраных мероприятий, экологически ориентированной практики землепользования и управленческих решений по снижению диффузного загрязнения (для каждого вида хозяйственной деятельности и конкретного водного объекта).

Анализ качества воды непосредственно в речной сети должен сопровождаться анализом пространственной информации как общего (тип использования территорий, густота речной сети, растительность), так и частного (способы внесения химикатов, их вид и др.) характера. Более того, без надежных и аккуратно собранных данных “в поле” и надлежащего инспекционного контроля водосборной территории выявить источники диффузного загрязнения и оценить их влияние практически невозможно.

В общем случае для выяснения предварительной картины формирования качества воды на конкретном водосборе (пункт “а” и частично “б”), включая определение степени ухудшения качества воды, получение предварительных данных в случае их недостатка или отсутствия, выделение проблемных участков водосбора, целесообразно провести рекогносцировочные обследования с подробными наблюдениями в течение всех гидрологических сезонов года, по крайней мере в течение 1–2 лет.

При этом проводится анализ всей полезной информации о качестве воды, землепользовании, других характеристиках, предоставление сведений в виде таблиц и графиков с последующей интерпретацией на основе экспертных оценок. Например, могут быть построены совмещенные графики изменения концентраций и расходов или уровней воды в реке для выявления связи с водностью или концентрации могут сравниваться с выбранными критериями качества на основе предельно допустимых концентраций различных веществ. Концентрации загрязнений можно нанести на схему водосбора, совместить их с гидрографической сетью или картой землепользования и проанализировать – существуют ли какие-нибудь закономерности изменения качества воды вдоль русла. Полученные данные химического анализа полезно увязать с результатами биологического мониторинга и/или инспекционного обследования территории.

Установление однозначного соответствия между внедрением экологически ориентированной практики ведения хозяйственной деятельности на водосборе и последующими изменениями качества воды в водном объекте (пункт “в” из представленного выше перечня) и/или реакцией его

экосистемы не может быть достигнута за короткий срок.

Чтобы преодолеть трудности при организации мониторинга и избежать ошибок при интерпретации результатов, целесообразно выполнение следующих операций [11].

1. Подробное и аккуратное документирование проблемы качества воды: описание причин его ухудшения, загрязнений и приоритетных показателей, территории источника загрязнения и др., что позволит сформулировать набор реалистичных и количественно оцениваемых целей в области качества воды и водоохраных практик и облегчит оценку результативности проекта в целом.

2. Тщательный анализ изменений использования территорий и применяемых технологий обработки земли в течение всего времени проведения эксперимента с одновременным мониторингом качества воды достаточной детальности, чтобы убедиться, что изменения качества воды произошли именно благодаря целенаправленному воздействию на водосборную территорию, а не другим факторам, например – изменению водности года.

3. Выше отмечено, что диффузное загрязнение в явном виде проявляется в многоводные периоды года (весеннее половодье, дождевые и снегодождевые паводки), что особенно характерно для относительно небольших водосборов ручьев и малых рек. Поэтому необходима организация наблюдений как минимум за расходами воды в реке. Дополнительные параметры – температура воздуха, количество выпавших осадков в период дождевого паводка, а также интенсивность их выпадения.

4. Продуманный проект экспериментальных работ на нескольких независимых водосборах в целях получения статистически достоверной информации и выводов. При этом наблюдения проводятся до начала внедрения правильной практики землепользования, а также в период их применения и после проведения этих мероприятий.

5. Четкое соответствие наблюдаемых показателей качества воды водного объекта тем ЗВ, на уменьшение поступления которых нацелены практические мероприятия на его водосборной территории. Важно также отслеживать и такие факторы, как изменения численности животных (для пастбищ) или изменение площади водонепроницаемых покрытий (например, для урбанизированных территорий), включая уже упомянутые выше климатические и другие факторы.

6. Внедрение подходящих для снижения загрязнений мероприятий, мониторинг полноты их выполнения и проверка их соответствия первоначальному плану. Мероприятия должны выбираться исходя из наиболее существенных для качества воды типов загрязнений и применяться в

первую очередь на наиболее критических с точки зрения формирования загрязнений участках речного водосбора. Предпочтительно, чтобы для одного и того же вида негативного антропогенного воздействия или загрязнения использовались сразу несколько однонаправленных мероприятий, поскольку их совокупное воздействие будет более эффективным, а улучшение качества воды — достижимым в более короткие сроки.

7. Важный фактор успешного проекта мониторинга — предоставление информации и реализация образовательных программ для землепользователей, представителей хозяйствующих субъектов, общественности как на этапе разработки проекта мониторинга, так и на протяжении выполнения работ. Это помогает повысить осознанность и вовлеченность всех заинтересованных лиц, участвующих в проектах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достижение целей мониторинга диффузного загрязнения напоминает процесс создания и реализации дорожной карты, начиная с задач, которые относительно легко выполнимы в данной конкретной ситуации для данного конкретного водосбора, заканчивая задачами, которые будут выполнены позже, когда сформируются соответствующие людские и финансовые ресурсы, будут углублены знания, усилена организационно-правовая основа или иным образом улучшены условия для проведения мониторинга.

Для крупного речного бассейна, такого как Волжский, в рамках поэтапного подхода желательно сначала реализовать несколько экспериментальных проектов в отдельно взятых субъектах РФ, расположенных в его пределах, и только после этого тиражировать успешную практику для оставшейся части бассейна. Преимущество такого подхода заключается в том, что организации, имеющие прямую или косвенную заинтересованность в использовании и управлении водными ресурсами, получают ценный опыт взаимодействия, который смогут более осознанно применить к другим подконтрольным водным объектам. Он также важен и с точки зрения того, что крупные речные бассейны простираются в пределах различных административных единиц. Поэтому для успешной реализации проектов мониторинга необходимо сотрудничество между всеми участниками субъектов РФ, к которым относятся органы охраны окружающей среды, бассейновые водные управления и их территориальные отделы, подразделения Росгидромета и пр. Сюда также относятся научно-исследовательские институты и другие организации, занимающиеся методической работой по мониторингу, моделированию, прогнозированию и оценке состояния окружающей среды и водных объектов. Такие до-

говоренности о сотрудничестве и институциональные рамки в значительной степени влияют на эффективность мониторинга. Согласованные планы действий в рамках схем комплексного использования и охраны водных объектов (или другой официальной формы водохозяйственного планирования меньшего масштаба, что более предпочтительно) — важная основа для определения информационных потребностей проектов мониторинга и оценки состояния водных объектов. Обязанности по ведению мониторинга качества воды и источников воздействия на него должны быть закреплены в законодательном порядке.

Дорожная карта — неотъемлемая часть пилотных проектов. Проекты в данном случае будут иметь достижимые цели и четкие и реалистичные задачи, которые учитывают специфические характеристики речного водосбора, озера или водно-носного горизонта.

Автор выражает признательность С.Д. Беляеву (РосНИИВХ) за предоставленные материалы и консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. М.: Изд-во стандартов, 1986.
2. *Кирпичникова Н.В.* Исследование неконтролируемых источников загрязнения (на примере Ивановского водохранилища). Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: ИВП, 1991.
3. *Кирпичникова Н.В., Полянин В.О.* Особенности организации мониторинга диффузного загрязнения природных вод // Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения. Сб. науч. тр. М.: Студия Ф1, 2019. С. 389–395.
4. *Мотовилов Ю.Г., Фацевская Т.Б.* Пространственно-распределенная модель формирования стока тяжелых металлов в речном бассейне // ВОДА: химия и экология, 2018. Вып. 1–3. С. 18–31.
5. Постановление Правительства РФ “Об утверждении положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов” от 10.04.2007 № 219 (с изменениями от 22 апреля, 7 октября 2009 г.).
6. Постановление Правительства РФ “Об утверждении положения о государственном мониторинге состояния и загрязнения окружающей среды” (06.06.2013 г. № 477).
7. Постановление Правительства РФ “Об утверждении положения о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)” (09.08.2013 г. № 681).
8. РД 52.24.309–2016. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши.

9. Стратегическое руководство по мониторингу и оценке трансграничных рек, озер и подземных вод (ЕЭК ООН ECE/MP.WAT/20), разработанное рабочей группой по мониторингу и оценке (WGMA) на основе обобщения десятилетнего опыта реализации Конвенции ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (Россия – сторона Конвенции).
10. *Dressing S.A., Meals D.W., Harcum J.B., Spooner J., Stribling J.B., Richards R.P., Millard C.J., Lanberg S.A., O'Donnell J.G.* Monitoring and Evaluating Nonpoint Source Watershed Projects. EPA. 2016. [Электронный ресурс] <https://www.epa.gov/polluted-runoff-nonpoint-source-pollution/monitoring-and-evaluating-nonpoint-source-watershed> (дата обращения: 20.01.2020)
11. National Nonpoint Source Monitoring Program. [Электронный ресурс] <https://www.epa.gov/nps/national-nonpoint-source-monitoring-program/> (дата обращения: 20.01.2020)
12. *Novotny V., Chesters G.* Handbook of non-point pollution. N. Y.: Van Nostrand Reinhold Co., 1981. 545 p.