

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Никаноров А.М.¹, Черногаева Г.М.², Беляев С.Д.³

¹ФГБУ «ГХИ», ²ФГБУ «ИГКЭ», ³ФГУП «РосНИИВХ», Россия

Сеть наблюдений Росгидромета за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши (ПВС) на территории Российской Федерации состоит из 1815 пунктов наблюдений разной категории, расположенных на 1187 водных объектах и содержит 3233 точки отбора проб воды. Число показателей, определяемых разными УГМС (включая полученные расчетным путем), различно и колеблется от 33 (Камчатское УГМС) до 64 (Западно-Сибирское УГМС). Периодичность наблюдений (ежедневно, ежедекадно, ежемесячно, в основные фазы водного режима) определяется категорией, к которой относятся пункты.

Решение прикладных проблем качества водных ресурсов должно быть направлено в нашей стране по пути внедрения новых научных знаний, полученных при фундаментальных исследованиях по изучению водных экосистем и протекающих в них процессов, которые определяют качество вод, в практическое использование в системе государственного мониторинга водных объектов. Особое внимание должно быть уделено следующим основным направлениям развития фундаментальных исследований.

Разработка новых методик анализа приоритетных загрязняющих веществ в воде, взвешенных веществах и донных отложениях с применением современных методов и высокопроизводительного аналитического оборудования. Наличие адекватного методического обеспечения, позволяющего с достаточной надежностью определять конкретные вещества на фоне сложной водной матрицы, является неотъемлемой и важной частью системы мониторинга загрязнения водных объектов [1, 2]. В настоящее время одним из наиболее современных методов определения металлов и других элементов (до 60) в объектах окружающей среды является атомно-эмиссионный с возбуждением их в индуктивно связанной плазме (ИСП). Широкий диапазон измеряемых концентраций позволяет анализировать и другие объекты, с более высоким содержанием металлов – взвеси, донные отложения, почвы - после перевода в раствор определяемых компонентов. ИСП-спектрометр может заменить комплекс из атомно-абсорбционных спектрофотометров с электротермической и пламенной атомизацией.

Для определения органических соединений в воде и донных отложениях, включая стойкие органические загрязнители, наиболее перспективными являются методы газовой и жидкостной

хроматографии [3, 4]. Использование различных детекторов, в том числе масс-спектрометрического, позволяет не только надежно идентифицировать загрязняющие вещества, но и количественно определить их на уровне долей ПДК, при условии эффективного концентрирования. В последние годы наибольшее внимание уделяется разработке методик концентрирования органических веществ из водной среды с использованием твердофазной экстракции. Это позволяет не только сократить использование токсичных органических растворителей, но и трудозатраты.

Важнейшим направлением развития методической базы мониторинга водных объектов на 2017г. и последующие годы будет оставаться разработка методик анализа донных отложений и взвешенных веществ, а также методик определения опасных для экосистемы и человека органических веществ в воде при использовании высокоэффективных аналитических приборов. Разработка и выбор наиболее оптимальных и экономичных способов выделения определяемых компонентов из взвешенных веществ и донных отложений является одной из приоритетных задач на ближайшие годы [5].

Одной из фундаментальных задач гидрохимии и гидробиологии является проблема оценки экологической опасности антропогенных воздействий на водные организмы и водные экосистемы с учётом изучаемых процессов самоочищения воды и определяемых природоохранных приоритетов. В этой связи в России проводится много экспериментальных, экспедиционных и мониторинговых исследований. Одним из потенциально опасных воздействий на водные экосистемы является загрязнение их химическими веществами разного класса токсичности. Сегодня общепринятой или утвержденной методики определения экологического риска, создаваемого химическим загрязнением, в РФ не существует. И проблема систематизированных экологически обоснованных критериев к оценке антропогенных воздействий на экосистемы до сих пор актуальна.

В связи с этим необходимо усиливать систему мониторинга за счет использования методов биоиндикации и биотестирования качества вод, позволяющих определять совокупный эффект комбинированного воздействия загрязняющих веществ на экосистемы.

Для характеристики антропогенных изменений экосистем – таких как перестройка структуры и метаболизм биоценозов, в 80-е годы была предложена концепция экологических модификаций В.А.Абакумова. Для общей характеристики состояния экосистем им были

предложены следующие градации: - состояние экологического благополучия; - состояние антропогенного экологического напряжения; - наличие элементов экологического регресса; - состояние экологического регресса; - состояние экологического и метаболического регресса.

Получить адекватную оценку изменений состояния поверхностных водных объектов в части качественных показателей можно с помощью биотестирования, который даёт интегральную оценку вреда, вызываемого суммарным токсическим действием всего комплекса загрязняющих веществ, содержащихся в водной среде, с учетом их синергизма и антагонизма. Показатели биотестирования природных вод включены в перечень показателей для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [6]. В методологии биотестирования к настоящему моменту сформировался ряд существенных первоочередных проблем: расширение круга тест-объектов, обеспечение гарантий качества биологической информации, унификация методов биотестирования.

В последние годы с увеличением числа чрезвычайных ситуаций на водных объектах возрос интерес к использованию и разработке экспресс-методик биотестирования, способных в кратчайшие сроки получить информацию как о токсичности и вод, так и донных отложений, которые аккумулируют загрязняющие вещества.

Важное место в научных исследованиях занимает изучение процессов эвтрофирования - повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных веществ: соединений азота, фосфора, кремния, железа и некоторых микроэлементов. Следствием эвтрофирования является «цветение» - массовое развитие фитопланктона, чаще всего с преобладанием синезеленых водорослей. Оно приводит к ухудшению качества воды и представляет опасность для функционирования водной экосистемы.

Установление токсичности водной среды в случае интенсивного «цветения» водоема (при доминировании синезеленых в сообществе фитопланктона) может быть с большой вероятностью отнесено к токсическому влиянию водорослей данного альгоценоза.

На основе многолетних исследований в ГХИ предложен подход к унификации методических подходов биотестирования [7]. Также разработан ряд руководящих документов и методических рекомендаций по оценке токсического загрязнения природных вод и донных отложений пресноводных экосистем методом биотестирования [8-10].

Учитывая тесную взаимосвязь в любой водной экосистеме между средой обитания (абиотическая составляющая), биоценозом (биотическая составляющая) и внешним антропогенным воздействием следует ожидать трансформацию их естественного природного состояния. При периодическом накоплении в водной среде азот- и фосфорсодержащих соединений и приоритетных загрязняющих веществ до концентраций, превышающих ПДК, происходит формирование нового «антропогенно-измененного» экологического состояния экосистем, при котором не только изменяется их трофический статус, но и заметно снижается и их экологическая емкость. Для оценки динамики изменений гидрохимических показателей состояния водных экосистем авторами введено понятие «антропогенно-измененный природный фон». В отличие от «природного фона» антропогенно-измененный природный фон – это совокупность основных параметров (показателей) природного фона, сохраняющих устойчивое изменение в течение длительного времени под действием антропогенных факторов. Особенно это характерно для городских территорий с большой антропогенной нагрузкой: сточные воды, выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, поверхностный сток с урбанизированных территорий, выбросы автомобильного транспорта и несанкционированные свалки по берегам водных объектов.

Анализ многолетних данных мониторинга качества поверхностных вод по контрольным створам, расположенным ниже населенных пунктов, показывает, что ниже практически всех населенных пунктов качество воды по гидрохимическим показателям изменяется в диапазоне от 3-го класса (загрязненная) до 5-го (экстремально грязная).

За счет техногенного воздушного загрязнения вокруг любого города формируется окаймление из постепенно уменьшающейся загрязненности почв, переходящей в итоге к локальному фону. Пятна загрязненности, сливаясь друг с другом, формируют еще большие площади загрязнения почвенного покрова. Городские почвы являются депонирующей средой всего спектра техногенных химических воздействий. Помимо трансформации их микроэлементного состава наблюдается их ожелезнение и карбонизация. Вследствие карбонизации городских почв увеличивается их щелочность и при значительном поступлении карбонатной пыли в кислые и нейтральные почвы происходит изменение класса водной миграции ландшафта.

Большую роль в формировании макрокомпонентного состава играют бытовые свалки, расположенные в окрестностях населенных пунктов. Кислотность просачивающихся из них

вод характеризуется значениями рН от 6,5 до 9,0, а их усредненные характеристики следующие: аммонийный азот – 1000мг/л, сульфаты – 1500мг/л, гидрокарбонаты – 10000мг/л [1]. Таким образом, в городах и в ареалах загрязнения, сформированного выбросами и свалками, наблюдается подщелачивание и карбонизация почвенного покрова. По данным Росгидромета также наблюдаются существенные изменения макрокомпонентного состава воды рек, а также их кислотно-щелочных характеристик ниже крупных городов (таблица 1).
Таблица 1 - Изменения макрокомпонентного состава и кислотно-щелочных характеристик речных вод при прохождении крупных городов.

Река, пункт	Химический состав, мг/л						рН
	SO ₄	HCO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	Sum	
р.Чусовая, г.Первоуральск							
8,5км выше города	29,42	91,26	0,106	0,008	0,358	177,6	7,13
1,7км ниже города	89,14	83,76	0,66	0,064	1,672	287,4	7,32
р.Исеть, г.Екатеринбург							
5,2км выше города	12,97	53,94	0,189	0,007	0,219	101,9	6,71
в черте города	50,51	106,1	0,63	0,044	0,97	256,1	7,27
р.Тагил, г.Нижний Тагил							
7км выше города	58,57	45,87	0,122	0,004	0,183	156,5	7,09
в черте города	60,17	70,38	0,277	0,016	0,45	211,8	7,19
23км ниже города	62,42	71,18	0,767	0,05	1,2	229,2	7,24
Р.Турья, г.Краснотурьинск							
16км выше города	9,78	56,93	0,197	0,004	0,08	94,2	7,02
7км ниже города	55,03	115	0,317	0,117	1,383	269,3	7,78

Среди фундаментальных проблем на первые позиции выдвинулись исследования внутриводоемных процессов, влияющих на формирование качества вод в различных климатических зонах с использованием методов натурного (мезокосменных экспериментов) и математического моделирования. Мы пока практически не знаем, что происходит с загрязняющими веществами при попадании их в водных объекты. Изучение процессов трансформации и миграции особо опасных загрязняющих веществ проводится с использованием метода натурного моделирования при помощи мезокосмов, в которых воспроизводятся основные закономерности исследуемых процессов. Они - основной инструмент химико-биологического исследования водных экосистем.

Одна из важнейших задач - оценка предельно допустимых нагрузок на водные объекты, то есть формирование научных основ системы нормирования. В основу системы нормирования должны быть положены представления о водных экосистемах, как о сложно организованных живых иерархических структурах, состоящих из нелинейно взаимодействующих между собой подсистем. Это предполагает необходимость создания иерархической системы оценок, в которой все частные оценки (гидрохимические, биотестирование, биоиндикация) должны быть согласованы с приоритетной – оценкой состояния экосистемы в целом.

Решить задачу оценки состояния экосистемы в целом можно, опираясь на изучение обобщенных процессов ее функционирования, таких как ассимилирование солнечной энергии, или фотосинтетическое продуцирование и деструкция органического вещества. Эти процессы формируют и естественным образом отображают все многообразие биотических связей и абиотических компонентов, образующих экосистему.

Продукционно – деструкционный подход позволяет описать состояние экосистем параметрами, выраженными в энергетических терминах, и дает возможность выявить в динамике экосистем особенности характерные для открытых самоорганизующихся систем вообще. Основные закономерности функционирования и критерии эволюции состояний таких экосистем в значительной мере известны [11-15]. Для качественной оценки состояний экосистем, фиксирования перехода из одного состояния в другое и определения меры устойчивости того или иного состояния были использованы известные принципы и критерии из неравновесной термодинамики. В Гидрохимическом институте на протяжении более двадцати лет проводились исследования по изучению водных экосистем под воздействием загрязняющих веществ. В экспериментах, в частности, в качестве обобщенных термодинамических параметров состояния экосистем исследовались интенсивность фотосинтетического продуцирования и деструкции органического вещества в процессе воздействия на природные модели различных загрязняющих веществ. В результате анализа динамики продукционно – деструкционных процессов с помощью фазового пространства была показана применимость основных закономерностей функционирования открытых физических систем (диссипативных структур) для описания качественного состояния водных экосистем [16]. Применение предложенного подхода в практике мониторинга позволит перебросить своеобразный «мостик» от оценки качества воды на основе приоритетных показателей к оценке состояния экосистем как целостных структур на основе термодинамических параметров состояния, т.е. к экологической оценке состояния водных экосистем, и определению предельно допустимых экологических нагрузок.

Одна из важнейших задач - создание единой законодательно утвержденной нормативно-методической базы по организации, ведению мониторинга водных объектов и анализу компонентов водной среды. Использование этой базы послужит основой получения более сопоставимой информации системами мониторинга водных объектов различных ведомств и создания единого информационного пространства, для оценки качества водных ресурсов и подготовки объединенных информационных документов, в первую очередь по трансграничным водным объектам.

За последние 10-12 лет ГХИ разработано и пересмотрено в соответствии с современными достижениями и требованиями 37 научно-методологических документов, регламентирующих функционирование режимного мониторинга и его подсистем, 102 нормативно-методических документов по химико-аналитическому обеспечению мониторинга качества ПВС и донных отложений для определения более 150 показателей, которые внесены в «Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды».

На современном этапе актуальной задачей является создание в стране оперативной системы мониторинга за счет внедрения автоматических станций (АС), обеспечивающей получение информации в автоматическом режиме на наиболее напряженных участках водных объектов, для объективной оценки качества водных ресурсов. В случаях возникновения на водных объектах ВЗ и ЭВЗ информация с АС позволит оперативно реагировать на возникшую ситуацию. ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ на период 2012-2020 годы» позволит решить эту задачу.

Перед нами стоит важнейшая задача, в связи с гипернаводнением на Дальнем Востоке - изучение последствий этого катастрофического паводка для качества водных ресурсов региона и состояния пресноводных экосистем. Нужно разработать и реализовать подсистему регионального экологического мониторинга и обосновать меры скорейшего восстановления экологического состояния водных объектов по физическим, химическим и биологическим показателям.

Действующая система нормативов предельно допустимых концентраций, устанавливаемых для воды (ПДК рыбохозяйственные, ПДК хозяйственно-питьевые) имеет широко известные

недостатки. Численные значения ПДК - это лишь оценки концентраций вещества, при которых на основе применяемых методик делается заключение об отсутствии/наличии вредного воздействия на тест-объекты и человека. Например, учет жесткости воды при нормировании содержания металлов, практикуемый в Европе и США, приводит в определенных условиях к стократным и более превышениям значений соответствующих нормативов над Российскими. Есть нормативы и более жесткие, чем у нас (по некоторым металлам, азоту аммония и пр.).

С точки зрения гигиенической применение ПДК вполне логично: превышение установленных значений влечет запрет на купание, или лов рыбы, или забор воды для питьевых целей. Но ведь на основе этих ПДК проводится нормирование водохозяйственной деятельности, разрабатываются водоохранные мероприятия. Можно констатировать, что на сегодня современной и юридически безупречной системы нормативов качества воды в водных объектах нет.

О системе нормирования воздействий на водный объект. Утвержденные Методические указания по расчету НДВ (в части нормирования сброса загрязняющих веществ) имеет целый ряд достоинств. Главное из них – назначение нормативов качества воды в водном объекте для веществ двойного генезиса на основе «природного фона», и/или характеристик водного объекта-аналога, в котором подтверждено благополучное состояние биоты. Однако эффективность практического использования НДВ сомнительна. НДВ «является суммарной массой загрязняющих веществ, которая максимально допустима на расчетном участке водного объекта в пределах установленного периода времени, когда концентрации загрязняющего вещества в замыкающем створе и в среднем по участку не превышают норматив качества воды». По нашему мнению, НДВ, трактуемый как допустимая суммарная масса поступления ЗВ на достаточно протяженном участке водного объекта, вообще не имеет никакого практического смысла.

Утвержденная Методика расчета НДС также имеет существенные недостатки, включая применение ПДК. При установлении НДС на водохозяйственном участке в Методике предлагается решать задачу математического программирования. Целевая функция – минимум суммарных приведенных затрат водопользователей на достижение НДС. Если бы речь шла об использовании бюджета, то постановка задачи была бы правомерна. Но мероприятия осуществляют водопользователи. Абсолютно очевидно, что минимизация суммарных затрат водопользователей, во-первых, лежит за пределами компетенции

регулирующего органа, во-вторых, не имеет смысла в случае, когда эти затраты несут самостоятельные юридические лица. Механизмов побуждения/компенсации – не предлагается.

Как видим, «новые» НДС и НДС никак не улучшают нашу систему управления водопользованием и водными ресурсами, не добавляют ей здравого смысла. В современном мире задача ставится другая: обеспечить максимально возможное снижение вредных воздействий, при ясной цели: к определенному сроку достичь «хорошего» состояния водного объекта.

У нас же, по сути, сохраняется система разрешения загрязнения, в частности, на основе сопоставления прогноза состояния водного объекта в 500м ниже выпуска по течению с ПДК. Точность прогноза изменения качества воды в реальном водном объекте не высока, поскольку в водном объекте действует масса слабоизученных и трудноизмеримых факторов. Таким образом, на основе довольно условных ПДК и не очень точных расчетов мы разрешаем предприятию сбрасывать сточные воды с некоторой концентрацией определенных веществ. Даже в случае выполнения требований риск ошибки и нежелательных последствий велик.

Для преодоления указанных недостатков предлагается (в рамках интегрированного управления водопользованием): 1) установка долгосрочных (со сроком достижения 15-20 лет) целей по параметрам состояния конкретного водного объекта (определяющие – параметры состояния биоты, при полном запрете сброса опасных веществ по списку) со всесторонним учетом природных особенностей и неустранимых антропогенных факторов (сброс сточных вод к неустранимым факторам не относится); 2) нормирование сбросов на уровне наилучших доступных технологий (НДТ) (должны быть официальные базы данных по НДТ), согласование и контроль планов перехода к технологиям на этом уровне; 3) если при внедрении НДТ выявляется невозможность достижения поставленных целей в заданные сроки, стимулируется разработка новых технологий, и/или принимаются политические решения по перепрофилированию опасных предприятий (15-20 лет достаточный срок и для того, и для другого).

В Европе такой подход воплотился в Рамочной водной директиве, которая реализуется полным ходом. В настоящее время имеется возможность обеспечить достаточную нормативную базу для совершенствования системы управления качеством воды в рамках

подготовки Проекта ФЗ № 584587-5 «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в части совершенствования нормирования в области охраны окружающей среды и введения мер экономического стимулирования хозяйствующих субъектов для внедрения наилучших технологий».

В заключение отметим, что все усилия по улучшению качества водных ресурсов не дадут желаемого результата, если не будет обеспечен контроль за неочищенными сбросами. Необходимо также расширять использование наилучших современных технологий очистки сточных вод. Только решение этих задач может в ближайшие годы реально улучшить качество водных ресурсов.

Литература

1. КORTE Ф., Бахалдин М., Клайн В., Лайя П. Экологическая химия. Основы и концепции. М.: Мир. 1997. 395 с.
2. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеиздат. 2005. – 576 с.
3. Майстренко В.Н., Ключев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических растворителей. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2004. – 323 с.
4. Dean J.R. Methods for environmental trace analysis. Northumbria University. Newcastle: Wiley, 2003. – 259 p.
5. Другов Ю.С., Родин А.А. Пробоподготовка в экологическом анализе. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2003. – 493.
6. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия // Зеленый мир: Российская экологическая газета. 1994. № 12. – С.8-11.
7. Бакаева, Никаноров. «Гидробионты в оценке качества вод суши»: М.: Наука, 2006.- 248 с.
8. РД 52.24.635-2002 Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования.
9. РД 52.24.734-2010 Организация и проведение наблюдений за состоянием и изменением качества поверхностных вод в чрезвычайных ситуациях.
10. Р 52.24.763-2012 Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей.
11. Гапонов – Грехов А.В., Рабинович М.И. Хаотическая динамика простых систем. Природа. 1981. № 2. С. 54 – 65.

12. Зотин А.И., Зотина Р.С. Термодинамические критерии устойчивости и надежности биологических систем и процессов развития // Надежность и гомеостаз биологических систем. Киев: Наукова думка, 1987. С. 26–34.
13. Климонтович Ю.Л. Введение в физику открытых систем. Соросовский образовательный журнал, № 8, 1996.
14. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М.:Наука,1994. 240 с.
15. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 352 с.
16. Никаноров А.М., Трофимчук М.М. Особенности термодинамики внутриводоемных процессов в пресноводных экосистемах при антропогенном воздействии. Доклады РАН, 2010, т. 433, № 2, с. 254 – 256.