

УДК 502/504.062.2

В. Н. МАРКИН, В. В. ШАБАНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены вопросы формирования системы мониторинга водных объектов. Предложены три уровня наблюдений: обзорный, основанный на использовании аэрокосмических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ); рекогносцировочный, базирующийся на возможности беспилотных летательных аппаратов (БПЛА); наземный, инструментальный. Параметры, полученные на всех уровнях мониторинга, можно вводить в моделирующие системы и прогнозировать поведение водного объекта в зависимости от изменения естественных и антропогенных воздействий.

Мониторинг водных объектов, уровни наблюдений, моделирующие системы, естественные и антропогенные воздействия, расчетный мониторинг, контроль состояния окружающей среды, дистанционное зондирование Земли.

In the work questions of formation of the water bodies monitoring system are considered. Three levels of observation are proposed: the general one based on using aerospace systems of Earth remote sensing (ERS); the reconnaissance one based on the possibility of pilotless vehicles (PV); the ground one, instrumental. It is possible to input the parameters received at all levels of monitoring into modeling systems and forecast the behavior of the water body according to the change of natural and anthropogenic impacts.

Monitoring of water bodies, levels of observations, modeling systems, natural and anthropogenic impacts, estimated monitoring, environmental control, Earth remote sensing.

Ухудшением экологического состояния водных объектов обусловлена их деградация и проблемы их водохозяйственного использования. Происходит это на фоне сокращения сети наблюдений в системе государственного мониторинга и ослабления контроля за влиянием антропогенной деятельности на водные объекты [1].

В России 1,25 млн малых, средних и крупных рек, которые представляют собой основные источники водоснабжения. Из них активно используется примерно 20 %. Применение методов моделирования позволяет задействовать 20 % всех рек для получения необходимых рядов гидрологических данных. Таким образом, число постов наблюдений, даже если на реке всего один пост, должно составлять около 50 000. Существующая сеть гидрологических наблюдений Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды включает 3085 гидрологических постов, из них на реках 2 731 пост. Это составляет 5 % от требуемого количества. Из 2 290 водохранилищ России наблюдается не более 12 % [1].

В современном мире актуальны задачи, связанные с выявлением источников негативного воздействия и контролем происходящих процессов как на самих водных объектах, так и в пределах их водоохраных территорий. Решение данных задач путем восстановления сети станций наблюдений представляется недостаточным.

Связано это с особенностями антропогенного влияния:

число источников негативного воздействия и их разнообразие возросло и продолжает увеличиваться;

одновременно влияет несколько причин, ухудшающих качество воды и состояние объекта. В силу действия законов эмерджентности и Боулича, даже при подпороговом уровне воздействия на систему, факторы могут вызвать качественно новый отрицательный эффект [2];

возрастает роль причинно-следственных связей. Это приводит к тому, что следствия, вызванные какой-либо причиной или их совокупностью, перерастают в причины. Например, загрязненность реки Москвы первоначально отмечалась

в связи с поступлением загрязнений со сточными водами (причина). Это привело к загрязнению донных грунтов (следствие), в настоящее время вторичное загрязнение играет (переросло в причину) существенную роль в загрязнении реки.

В условиях, когда усложняются взаимосвязи и взаимозависимости в техноприродной системе, невозможно управление простыми способами. Требуется развитие многообразных структур, методов и средств. Это в полной мере относится и к мониторингу.

Основные требования к мониторингу следующие:

постоянство контроля и охват больших территорий. Это может быть достигнуто путем использования средств авиакосмического сканирования и стационарных станций наземного базирования;

оперативность и достоверность. Это достигается благодаря использованию разноуровневого контроля: космический контроль → аэрофотосъемка с большой долей использования БПЛА → наземный (постоянный, периодический, разовый) контроль.

Выполнение предъявляемых требований обеспечивается разными видами контроля.

Рекогносцировочный контроль. Цель данного вида контроля заключается в анализе общего состояния водных объектов и условий их формирования. Предусматривает одновременное применение разных методов: аэрокосмической съемки, наземного визуального и инструментального обследования, включая биотестирование и методы расчетного мониторинга. Позволяет оценить фактическую ситуацию и эффекты воздействия антропогенной деятельности за прошедший период, оценить формирующиеся тенденции изменения состояния системы и уточнить связи между параметрами, определяемыми разными методами. *Данный контроль обеспечивает «реперную» привязку к конкретным условиям (периодичность проведения зависит от потребностей). Например, контроль медленно протекающих процессов может проводиться один раз в течение нескольких лет; контроль сезонных изменений – несколько раз в год или период года и т.д.*

Режимный контроль ситуации. Позволяет выявлять проблемные зоны путем анализа происходящих изменений и отклонений от естественных процессов. *Используется стационарная сеть наблюдений, методы аэрокосмического сканирования, прогнозирование ситуации расчетными методами.*

Детальное обследование. Данный контроль предназначен для проведения наблюдений в проблемных зонах, опасных очагах путем использования средств высокой разрешающей способности, позволяющих оперативно получать параметры, конкретизирующие ситуацию.

Прогностический контроль. Это вид мониторинговых исследований, основанный на постоянно действующих моделях водной системы. Путем моделирования выявляют потенциально опасные участки, прогнозируют возможные пути развития ситуации, выявляют случаи недопустимого отклонения от норм.

Мониторинговые исследования необходимо формировать в виде блочной структуры. Блочность подразумевает выделение объектов, за которыми проводится наблюдение (водная толща, донный грунт, береговая линия, прибрежная территория и т.д.). В каждом блоке проводится весь комплекс необходимых наблюдений с использованием новейших технических средств (летательные аппараты, наземные наблюдения и расчетные методы). Полученные в разных блоках данные должны быть сопоставимы между собой и интегрироваться в общую расчетную систему.

Данная схема позволяет:

контролировать всю территорию водного бассейна;

получать необходимую информацию для водного объекта в целом и его отдельных компонентов;

восполнять ряды наблюдений (например, в условиях потери части данных или пропуска наблюдений);

получать данные, сопоставимые в пространственно-временном отношении.

Мониторинг осуществляется на водных объектах, включая их прибрежные территории, в первую очередь берега и водоохраные зоны, водохозяйственные системы и сооружения. Количество створов наблюдений и их размещение определяется принципами разумной достаточно-

сти, эффективности и обратной связи [2]. Размещение контрольных створов производится с учетом необходимости анализа: природных условий среды, антропогенно-воздействия, значимости объектов.

В связи с этим выделяются следующие зоны мониторинга:

зона непосредственного воздействия – районы интенсивного протекания русловых процессов, переформирования прибрежных территорий, устья рек и их отдельные участки, гидроузлы, места сброса сточных вод, поступления площадных стоков и т.п.;

зона транзитных участков – контроль загрязнения воды в районах, прилегающих к зонам непосредственного влияния и попадающих под косвенное воздействие. В данных зонах осуществляется мониторинг трансформации и распространения загрязнений;

фоновые зоны – участки, расположенные вне зон прямого и косвенного антропогенного воздействия (например, выше по течению рек).

Получаемые в створах данные должны позволять формировать многолетние ряды интересующих параметров водных объектов. В этом случае учитывается использование расчетных методов (особенно для неконтролируемых постоянными наблюдениями створов), в том числе методов аналогии на фоне районирования территории. Районирование проводится, например, на основе типизации основных параметров (гидрологических, гидрохимических) и условий формирования водных объектов.

Масштабы мониторинговых исследований разделяются по уровням в соответствии с принципом иерархичности:

глобальный мониторинг – осуществляется на основе международного сотрудничества (необходим, например, для мониторинга трансграничных водных объектов);

национальный мониторинг – осуществляется в пределах страны и ее крупных регионов, бассейнов крупных и уникальных водных объектов (например, озеро Байкал), водохозяйственных систем государственного значения (например, Волжско-Камский каскад);

региональный мониторинг – осуществляется в пределах бассейнов рек, интенсивно осваиваемых районов (например,

московский мегаполис);

локальный мониторинг – включает слежение за изменениями качества среды в пределах водохозяйственного гидроузла, участка водного объекта, в том числе в пределах особо опасного источника.

Реализация системных наблюдений связана с использованием нормативных показателей (нормативная база) и методов мониторинговых исследований (натурных и расчетных). Причем методы контроля качества воды занимают центральное место. Рассмотрим каждый из этих элементов.

Нормативная база. Действующая в настоящее время система экологического контроля загрязненности водных объектов основана на концепции предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК). Однако данная концепция ПДК экологически недостаточна. Основные ее недостатки следующие [3]:

нормативы ПДК определяются в лабораторных условиях в краткосрочных (дни) и хронических (недели) экспериментах на изолированных популяциях организмов. Определение реакции организмов идет по ограниченному набору физиологических и поведенческих реакций на отдельные факторы, совместное влияние которых не учитывается. Поэтому экстраполяция нормативов ПДК на реальные природные объекты неправомерна;

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ принимаются в качестве единых нормативов без учета естественного специфического фона. Не учитываются особенности природных зон, времена года, места обитания. При этом каждая экосистема обладает уникальным комплексом связей между отдельными компонентами, специфическим адаптационным потенциалом к воздействиям и выработанной в процессе эволюции токсикорезистентностью;

исследования по определению ПДК дорогостоящие. К настоящему времени установлено около тысячи ПДК. От общего числа нормированных веществ не более 10 % обеспечено методами обнаружения на уровне ПДК (число загрязняющих веществ антропогенного происхождения превысило миллионы наименований и ежегодно синтезируется около четверти миллиона новых химических веществ);

вредное действие физических, химических и других факторов при их

комбинировании может усиливаться (эффект синергизма), что представляет наибольшую опасность для организмов [4]. При определенном соотношении воздействующих агентов повреждающий эффект максимален;

отсутствие соответствия между лабораторными (модельными) и природными экосистемами [5].

Перечисленные недостатки концепции ПДК ставят под сомнение возможность всей существующей системы экологического контроля и природоохранной деятельности.

Альтернативой методологии ПДК может служить концепция экологической толерантности, устанавливающая допустимые уровни воздействий для биотической части реальных экосистем, согласно которой любая экологическая система имеет некоторые пределы изменения экологических факторов, при которых она сохраняет относительную стабильность отличительных признаков [6]. В данном диапазоне состояние экосистемы можно считать нормальным. Выход какого-либо фактора за пределы данного диапазона сопровождается изменением функциональных показателей состояния организма при неизменных морфологических признаках (рис. 1).



Рис. 1. Схема реакции организма на ухудшение состояния среды

Напротив, в экосистеме любое изменение внешних условий вызывает структурные изменения, при этом сохраняется относительное постоянство функциональных показателей и других процессов экологического метаболизма (рис. 2) [7].



Рис. 2. Схема реакций экосистемы на ухудшение состояния среды

Данные изменения в экосистеме и организме непосредственно обнаруживаются методами биоиндикации, которые позволяют отличить экологически благополучную экосистему от экосистемы с существенными изменениями, вызванными внешним воздействием, в первую очередь – антропогенным.

Систематический контроль изменения оценочных показателей состояния является основой в биологической части экологического мониторинга. Выявление физико-химических изменений экосистемы позволяет контролировать условия существования биоты и количественно определять ее выход за границы стабильного существования.

Учитывая специфику проведения мониторинговых исследований водных объектов, включающих оценку состояния водной толщи, донных отложений и биоты, к методам биотестирования предъявляются следующие требования:

- относительная простота, позволяющая проводить исследования техническому персоналу службы мониторинга;
- достоверность и сопоставимость результатов;
- оперативность и объективность получаемой информации;
- низкая относительная стоимость.

Таким образом, нормативная база формируется с учетом индивидуальных особенностей конкретной экосистемы (рис. 3).



Рис. 3. Схема определения нормативных показателей состояния среды

Натурные методы мониторинговых исследований. Наблюдения за изменениями качества воды и состоянием водной системы проводятся с использованием биологических и физико-химических методов. Данные методы основаны на использовании показателей, отражающих химическое, физическое и биологическое

состояние системы. Химические и физические показатели позволяют непосредственно судить о состоянии водной среды и тем самым выявлять и конкретизировать возмущающее воздействие на водный объект. Однако при этом они не отражают сущности фактора для экосистемы и поэтому не дают представления об общем состоянии водного объекта.

Биологические показатели, напротив, отражают общие закономерности, происходящие в экосистеме. Однако их сложно использовать для целей прогноза поведения системы, что снижает возможность внедрения расчетного мониторинга.

Совместное применение физико-химических и биологических методов оценки состояния водной экосистемы позволяет выйти на количественный анализ состояния экосистемы в целом.

В случае прогноза качества воды или состояния водного объекта необходимо применять *расчетный мониторинг*. В этих условиях определенный интерес представляют следующие задачи:

количественная оценка возможных изменений состояния окружающей среды на основе сокращения параметров, необходимых для оценки;

использование гидрохимических показателей, которые непосредственно отражают влияние антропогенной деятельности;

упрощение расчетов без потери их значимости и точности получаемых результатов.

Решить данные задачи можно путем использования связи между показателями состояния водной биоты и гидрохимическими и гидрологическими показателями. Такая связь реализуется по методу соответствия параметров экосистемы [8].

Суть метода заключается в следующем. Водная экологическая система формируется и развивается на основе тесной взаимосвязи (и взаимозависимости) биоты и среды обитания, которая характеризуется гидрологическими и гидрофизическими, гидрохимическими и гидробиологическими показателями. Связи между показателями очевидны – все они отражают состояние одной и той же водной экосистемы. В отношении гидрохимических и биологических, гидробиологических и гидрологических показателей связи известны [9, 10]. Следовательно, оценка состояния системы с помощью разных показателей должна давать одни и те же результаты. Однако связи между отдельными параметрами экосистемы не всегда очевидны, например в силу влияния на них многих других факторов, поэтому рассматриваются только те, для которых связи достаточно постоянны и достоверны (табл. 1).

Таблица 1

Связь показателей состояния водной экосистемы и качества воды

Оценочный показатель	Класс качества воды					
	1	2	3	4	5	6
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Очень грязная
БПК ₅ , мг О/л	0,5...1,0	1,1...1,9	2,0...2,9	3,0...3,9	4...10	>10
Индекс загрязнения воды	≤ 0,2	0,2...1	1...2	2...4	4...6	>6
Индекс сапробности S	≤ 0,5	0,5...1,5	1,5...2,5	2,5...3,5	3,5...4	>4
Фосфаты, мгР/л	0,005...0,015	0,015...0,05	0,05...0,2	0,2...0,3		0,3...0,6
Нитраты, мгN/л	0,05...0,2	0,2...1	1,0...2	2,0...2,5		2,5...4
Индекс Шеннона H	3,06...2,30	2,30...1,89	1,89...1,52	1,52...1,25		1,25...1,11
Биотический индекс, по Вудивису	10	9...7	6...5	4	3...2	1...0
Трофность	Олиготрофная	Мезотрофная		Эвтрофная		Гипертрофная
Сапробность	Ксеносапробная	Олигосапробная	α-мезосапробная	β-мезосапробная		Полисапробная
Зона кризисности экосистемы	Стадия обратимых изменений		Пороговая стадия	Стадия необратимых изменений		

Не менее очевидная связь прослеживается между гидрохимическими (например, концентрация веществ в воде) и гидрологическими характеристиками (например, объем воды в водном объекте).

В работе [8] авторами показано использование связи между комплексным показателем качества воды и объемом речного стока для оценки состояния речной системы в разных гидрологических и водохозяйственных условиях. Использование гидрологических характеристик для контроля качества воды и состояния водного объекта расширяет прогностические возможности расчетных методов мониторинга, позволяя проигрывать разные варианты водохозяйственной деятельности. Кроме того, гидрологические параметры хорошо отслеживаются с помощью средств воздушной разведки.

Требованиям мониторинговых исследований удовлетворяет методика биоиндикации, разработанная С. Г. Николаевым [11]. В качестве индикаторных организмов рассматриваются представители макрозообентоса. Они имеют длительные жизненные циклы, ведут малоподвижный образ жизни и могут быть легко определены. Рассматриваемый метод учитывает особенности обследуемого водоема, наличие и условную значимость, а также биоразнообразие сообществ водных организмов. Ценность получаемой информации связана с выявлением продолжительных изменений водных экосистем, которые происходят в результате загрязнения и истощения, а также в результате русловых процессов.

Расчетные методы. Наблюдения за изменением параметров состояния водного объекта могут быть прямыми и опосредованными, к которым и относятся расчетные методы. Их применяют тогда, когда необходимые параметры трудно или невозможно получить прямыми методами. В этом случае прибегают к вычислению их через величины, массовое измерение которых налажено в системе контроля состояния окружающей среды. Однако цель расчетного мониторинга связана с необходимостью

обоснования управляющих воздействий. Расчетные методы позволяют прогнозировать изменение ситуации при разных сценариях развития событий или угрозе возникновения негативного проявления природных или антропогенных процессов. Основные задачи расчетных методов: своевременное выявление изменений состояния водного объекта; оценка и прогноз происходящих изменений; выработка рекомендаций по предупреждению и устранению негативных последствий; информационное обеспечение заинтересованных лиц.

Моделирование, проводимое в рамках расчетного мониторинга, дает возможность выявить потенциально опасные с экологической точки зрения места и в первую очередь там планировать проведение инструментального мониторинга для детального изучения причин неблагоприятной экологической ситуации.

Расчетный мониторинг может сопрягаться с системой дистанционных наблюдений (съемок и наблюдений аэрокосмическими средствами), главное назначение которых – получение характеристик состояния водного объекта на глобальном и региональном уровнях. Это осуществляется средствами космических наблюдений.

Средства космического наблюдения. Спутниковые изображения могут быть сделаны в видимой, ультрафиолетовой, инфракрасной части спектра, с помощью радарной съемки. Дешифрование и анализ спутниковых снимков выполняется с помощью автоматизированных программных комплексов, которые позволяют подготавливать снимки для использования в ГИС и САПР. Спутниковые фотографии имеют разрешающую способность 60 см (в массовом использовании задействованы аппараты с разрешением 6 м), а в перспективе позволят опознавать объекты на поверхности Земли размером менее полуметра, благодаря чему можно уверенно идентифицировать изменение русловых процессов и выявлять «точки изменения цветности» воды при изменении ее физико-химических характеристик.

В последнее время при производстве космической съемки используются системы

GPS и ГЛОНАСС. Основные требования к спутниковым системам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Требования к спутниковым системам [12]

Вид параметра	Разрешение, м			Частота наблюдений, 1 раз в период		
	Максимальное	Минимальное	Оптимальное	Максимальная	Минимальная	Оптимальная
Топография	1	20	10	2 года	5 лет	1 год
Типы растительного покрова	10	150	20	1 месяц	3 месяца	2 месяца
Землепользование	10	150	20	3 месяца	6 месяцев	6 месяцев

Средства авиационной разведки. Аэрофотосъемка осуществляется с пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов с высоты от 10 до 2000 м и более на протяжении десятков и сотен километров.

Детальная съемка обеспечивается дистанционно управляемыми аппаратами, которые способны стартовать в непосредственной близости от снимаемого объекта. Преимуществами использования беспилотных летательных аппаратов являются:

высокое разрешение на местности – видны мельчайшие детали рельефа и объекты сантиметрового размера;

оперативность – весь цикл от выезда на съемку до получения конечных результатов занимает несколько часов;

возможна детальная съемка небольших объектов – технология позволяет проводить фотосъемку небольших объектов и малых площадок там, где сделать это другими видами аэрофотосъемки совершенно нерентабельно, а в ряде случаев и технически невозможно;

низкая стоимость – в 10 раз дешевле традиционных методов аэрофотосъемки (10...15 тыс. р./ч при стоимости самого летательного аппарата около 40 тыс. р.);

облегченная процедура получения разрешений на полет.

Выводы

Существующая система мониторинга становится малоэффективной из-за сокращения количества точек наблюдений, заявительного характера деятельности хозяйствующих субъектов на водосборе, устаревших средств контроля и невысокой экологической информативности получаемых данных.

Проведение мониторинговых исследований предлагается осуществлять в соответствии с блочной структурой, основанной на многоуровневом делении объекта по территориальному признаку, с привлечением разных средств и методов контроля. Получаемые данные в разных блоках должны быть автономны и сопоставимы между собой. Данная схема позволяет получать необходимые данные для любого объекта, проверять их достоверность, восполнять ряды отсутствующих наблюдений, контролировать всю территорию и получать данные, сопоставимые в пространственно-временном отношении.

Средства, с помощью которых проводится мониторинг водных объектов:

средства аэрокосмической разведки (основные средства, позволяющие контролировать всю необходимую территорию, выявлять проблемные участки и следить за развитием в них процессов);

сеть стационарных наблюдений (базовые средства, которые предназначены для получения необходимого набора параметров, привязки к ним наблюдаемых аэрокосмическими методами показателей, получения экологических нормативов допустимых воздействий);

передвижные станции (вспомогательные средства, позволяющие расширять территорию, обслуживаемую стационарной сетью, проводить наблюдения в проблемных зонах);

расчетные методы (основные средства для прогноза развития процессов и явлений).

Предлагаемый подход к системе мониторинга полностью соответствует принципам системных исследований, что обеспечивает его эффективность.

1. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года; утв. Правительством Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р. – URL: <http://www.admoblkaluga.ru/sub/priroda/ministerstvo/zadachi2009.php> (дата обращения 12. 07. 12).

2. Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 639 с.

3. Абакумов В. А., Суценья Л. М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования: Экологические модификации и критерии экологического нормирования: труды Международного симпозиума. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С. 41–51.

4. Петин В. Г., Жураковская Г. П., Пантюхина А. Г., Рассохина А. В. Малые дозы и проблемы синергического взаимодействия факторов окружающей среды // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1999. – № 1. – 39. – С. 113–126.

5. Жигальский О. А. Экологическое нормирование антропогенных нагрузок: Освоение Севера и проблемы рекультивации: тезисы докладов Третьей междунар. конф. – Сыктывкар, 1997 – С. 73–75.

6. Максимов В. Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиологический журнал. – 1991. – № 3. – С. 8–13.

7. Федоров В. Д. Устойчивость экологических систем и ее измерение // Известия АН СССР. Сер. биол. – 1974. – № 3. – С. 402–415.

8. Шабанов В. В., Маркин В. Н. Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР. – М.: ФГОУ ВПО МГУП, 2007. – Деп. в ВИНТИ 06.11.07 – 81 с.

9. Булгаков Н. Г., Дубинина В. Г., Левич А. П., Терехин А. Т. Метод поиска сопряженностей между гидробиологическими показателями и абиотическими факторами среды // Известия РАН. Сер. биол. – 1995. – № 2. – С. 218–225.

10. Алимов А. Ф. Территориальность у водных животных и их размеры // Известия РАН. Сер. биол. – 2003. – № 1. – С. 93–100.

11. Николаев С. Г. Биоиндикация уровней загрязнения водотоков. – М.: Госкомгидромет, 1992. – 18 с.

12. Требования к спутниковым системам: информация сайта Научного центра оперативного мониторинга Земли. – URL: http://www.ntsomz.ru/projects/eco/econews_271108_beta (дата обращения 12. 04. 12).

Материал поступил в редакцию 17.05.12.

Маркин Вячеслав Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидрология, метеорология и регулирование стока»

Тел. 8 (499) 976-23-68.

Шабанов Виталий Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Мелиорация и рекультивация земель»

Тел. 8 (499) 976-47-73

E-mail: svvsh@rambler.ru