

УДК 57.013

*Е. В. Веницианов***К вопросу развития системы комплексного мониторинга водных объектов**

*Предлагается методология проектирования и развития системы мониторинга водных объектов с учетом современных требований к получаемой информации, необходимой при оценке качества вод для разных видов водопользования, в том числе питьевого водоснабжения; экологического состояния водных объектов; разработки мероприятий по охране вод.*

*Ключевые слова: мониторинг водных объектов, гидрологические, гидрохимические, гидробиологические показатели качества вод, проектирование мониторинга, информационное обеспечение.*

**Об авторе**

**Веницианов Евгений Викторович** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией охраны вод ФГБУН Института водных проблем Российской академии наук, профессор кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна». *E-mail:* eugeniy.venitsianov@gmail.com. 119333 г. Москва, ул. Губкина, д. 3.

В связи с реализацией второго этапа реконструкции сети мониторинга в России представляется важным рассмотреть перспективы ее развития. Для обозначения крупных отраслевых информационно-технологических систем в настоящее время используется понятие «технологическая платформа» как совокупности взаимосвязанных технологий, направленных на достижение единой цели, в данном случае – мониторинга водных объектов. В основе методологии ее проектирования лежит модульный принцип. При этом каждый модуль может использоваться самостоятельно или интегрироваться при необходимости с другими модулями через стандартные и единые форматы представления конечных для каждого модуля результатов.

Мониторинг собственно водных объектов должен включать в себя:

- мониторинг поверхностных вод (гидрологический, гидрофизический, гидрохимический, гидрометрический, гидрогеологический);
- донных отложений;
- подземных вод, особенно гидравлически связанных с поверхностными водами;
- мониторинг берегов и водоохранной зоны;
- мониторинг гидробиоты как взаимосвязанных компонентов экосистемы водного объекта.

Мониторинг территории водосбора, в свою очередь, включает в себя мониторинг природных и антропогенных компонентов, способных влиять на состояние контролируемого водного объекта.

Применительно к антропогенным компонентам рекомендуется использовать паспортизацию промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных предприятий-загрязнителей, включая предприятия по очистке промышленных и коммунальных стоков.

Разработке подлежит также методология учета распределенных источников загрязнения вод и учета их вклада в общее загрязнение вод.

Отметим необходимость создания методики формирования **регистра химических веществ**, используемых или (и) производимых на территории водосбора, с оценкой риска их попадания в водную среду, токсикологической опасности для гидробиоты и для населения как потребителя питьевых вод. При этом оценка токсикологической опасности должна производиться как по данным нормативных документов (предельно-допустимых концентраций – **ПДК**, ориентировочных допустимых уровней – **ОДУ**), так и с использованием международных и национальных регистров химических элементов и химических соединений, суммирующих их физико-химические характеристики и дающих оценки биологической активности. Использование таких регистров целесообразно при обнаружении веществ, для которых отсутствуют нормативные ограничения концентраций. В связи с существованием многих реги-

сторов подобного содержания целесообразно создание автоматической поисковой системы (скрининг регистров), а также технологии для расчетного прогноза токсичности по химической структуре вещества.

Самыми распространенными и наиболее часто используемыми **методами химического анализа** для определения органических соединений в настоящее время являются хроматография и хромато-масс-спектрометрия. Тотальный скрининг является необходимым первичным методом, задача которого – определение гидрохимического профиля водного объекта или его участков. Методы идентификации можно разделить на две группы:

1) идентификация путем сравнения с известными данными (спектром);

2) идентификация по результатам анализа.

Разработаны программные средства для качественного и количественного мультикомпонентного скрининга, позволяющие однозначно определять молекулярные формулы любых веществ. Например, программный пакет *TargetAnalysis* включает в себя базу данных на более чем 50 000 соединений.

Разработка концепции программного обеспечения в рамках мониторинга водных объектов – МВО – диктуется необходимостью создания единого информационного поля для всех распределенных баз данных о состоянии природных вод. Такие базы данных по стандартной программе должны формироваться всеми организациями региона или бассейна, занятыми оценкой состояния водных объектов, исходя из собственных задач.

Сейчас подобная интеграция реально отсутствует. Не ведется интеркалибровка различных лабораторий, что приводит к значительному расхождению данных, получаемых различными организациями даже на одних и тех же створах в одно и то же время. Научные принципы и конкретная методика такой интеркалибровки также подлежат разработке.

Все наблюдательные технологии мониторинга по отношению к объекту измерения можно разделить на контактные и дистанционные. Концепция оптимального сочетания этих технологий в МВО применительно к конкретным задачам мониторинга и целям управления отсутствует. Она должна быть разработана на основе анализа развития этих технологий, их адекватности поставленным задачам, с учетом экономических аспектов и других показателей.

Комплексность мониторинга должна также проявляться в оптимальном сочетании измерительных и информационных технологий.

Научные исследования показывают, что при широком ассортименте загрязняющих веществ, характерном для большинства природных поверхностных вод суши в России, учет их комплексного опасного воздействия на живые организмы невозможен без данных **гидробиологического мониторинга**. В связи с этим следует отметить, что в России есть только два общероссийских стандарта определения качества воды по гидробиологическим показателям, хотя среди стандартов ISO их не менее 50. Необходимо интегрировать результаты мониторинга водных объектов с данными социально-гигиенического мониторинга, включая оценку влияния водного фактора на здоровье населения.

**Мониторинг загрязнения природных вод** – систематические наблюдения за накоплением в природных водах веществ антропогенного или (и) природного происхождения и опасных организмов, а также наблюдение за воздействием химических, физических и биологических факторов, которые изменяют фоновые характеристики вод. Кроме того, в функции мониторинга загрязнения природных вод входит выявление источников загрязнения и прогнозирование развития экологической ситуации.

Существенные цели мониторинга загрязнения природных вод – оценка текущего состояния природных вод, составление баланса загрязнений, прогноз изменения экологической ситуации, оценка и динамика экологических рисков, определение конкретных факторов и источников загрязнения, формирование предложений по снижению уровня загрязнения природных вод, информационная поддержка управляющих решений, направленных на минимизацию ущербов от загрязнения для экосистем и населения.

Принципиальный подход к оценке экологических рисков на основе риск-ориентированного подхода включает три составляющие [8]:

- оценка опасности – сбор и анализ информации о физико-химических и биологических свойствах вещества, способах производства и использования, воздействии на ОС. В случае, если в результате проведенной оценки вещество не попадает под критерии классифи-

кации опасных веществ и не является стойким / склонным к биоаккумуляции / токсичным, процесс оценки завершается;

- оценка воздействия – определение степени воздействия вещества на человека и ОС на всех этапах жизненного цикла вещества, с учетом всех способов его производства и использования;

- характеристика риска – сравнение уровня воздействия вещества с безопасными пороговыми значениями для человека и ОС.

Для проведения оценки должны быть обязательно определены все стадии жизненного цикла (ЖЦ) вещества, что позволяет установить границы проведения оценки рисков. Для этого определяются: способы использования вещества на каждой стадии ЖЦ; все возможные виды поступления вещества в ОС на всех стадиях ЖЦ; возможные объекты, на которое вещество может оказывать воздействие.

Мониторинг загрязнения природных вод должен учитывать загрязнение водосборной территории, в том числе снегового покрова в бассейне контролируемого водного объекта, а также учитывать наличие гидротехнических сооружений, способных влиять на перемещение загрязнений и их трансформацию, например в водохранилищах.

В ряде случаев поиск источников загрязнения природных вод должен быть связан с мониторингом загрязнения атмосферы. Мониторинг загрязнения природных вод должен быть связан с другими видами мониторинга: гидрологическим, гидрогеологическим, донных отложений, ландшафтным и др.

Нормирование показателей качества вод определяется наличием соответствующего документа, представляющего характеристику опасного воздействия либо соответствующий перечень, ограничивающий или запрещающий использование этих веществ. Примерами документов второго типа являются списки приоритетных загрязняющих веществ (разработанные в США и в Европейском Союзе), которые для различных компонентов окружающей среды (в частности, для воды) содержат перечни 100–150 наиболее опасных загрязняющих веществ, часто встречающихся в окружающей среде (основные классы таких веществ: галогенуглеводороды, хлорорганические пестициды, галоидные эфиры, нитрозоамины и др.) [3; 5]. Принято Распоряжение Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня за-

грязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», включающее 249 компонентов (веществ, радиоактивных изотопов, микроорганизмов и других показателей) [4].

Одной из проблем мониторинга загрязнения природных вод является многочисленность химических соединений (на начало августа 2016 г. в соответствующей международной системе их зарегистрировано более 117 млн [7]). Очевидно, что число таких соединений слишком велико для того, чтобы нормировать содержание каждого из них. Возможное решение этой проблемы – поиск обнаруженного ксенобиотика в международных регистрах, где может быть представлено описание биологической активности этого вещества или класса веществ, к которому принадлежит анализируемое вещество, а также расчеты такой активности по химической структуре вещества.

В принципе возможна идентификация любых органических ксенобиотиков, находящихся в воде, в концентрациях 10 нг/дм<sup>3</sup>, а в ряде случаев до 0,1 нг/дм<sup>3</sup> при соответствующей пробоподготовке и выборе оптимального метода идентификации и определения. Идентификация соединений, находящихся в воде, позволяет не только формально определить их номенклатуру, а также структурные формулы и на основе этих данных оценить вид их опасного действия, а в некоторых случаях и пределы опасных концентраций даже при отсутствии нормированных значений ПДК для них [2].

Для этого следует использовать расчетные методы оценки вида токсичности вещества и его опасных концентраций, которые формируются на основе знаний структуры вещества и/или его физико-химических характеристик, а также на информационных технологиях, связанных с поиском сведений об опасности веществ в международных базах данных и регистрах.

В разработанной системе оценки биологической опасности [9] ксенобиотиков используется 14 международных и национальных баз данных и программа прогноза биологической активности соединений по их структуре *PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances)*. Современная версия компьютерной программы *PASS 2014* прогнозирует 7157 активностей на основе данных о 960 тыс. соединений. Средняя точность предсказания, рассчитанная по методу исключения по одному, составляет 94,1%. Спи-

сок прогнозируемых PASS видов биологической активности включает в себя основные и побочные фармакологические эффекты, биохимические механизмы действия, специфическую токсичность, мишени в организме. Результатом прогноза в программе являются вероятности наличия и отсутствия конкретного вида активности, т.е. эта система основана на риск-ориентированном подходе к оценке экологической опасности.

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

- фактор биоаккумуляции,
- показатель острой токсичности LD50 (средняя смертельная концентрация для тестируемых организмов),
- IGC50 (концентрация полумаксимального ингибирования роста).

Методы анализа содержания примесных веществ в воде – традиционные аналитические методы. В мониторинге загрязнения природных вод также активно используются технологии, связанные с использованием биоиндикаторов, биодетекторов, биотестеров и биосенсоров. При многокомпонентном загрязнении вод биологический мониторинг – важное направление мониторинга загрязнения природных вод, т.к. простая аддитивность одновременного воздействия разных веществ не учитывает возможного синергизма и ряда других побочных явлений.

В мониторинге загрязнения природных вод используются технологии контактного и дистанционного видов мониторинга. Разработка систем мониторинга загрязнения природных вод и их технологических платформ включает определение целей, выбор определяемых показателей, зон и горизонтов регистрации, измерительных средств, их носителей, принципов передачи данных, требований к информационной системе, включая геоинформационную. Системы мониторинга загрязнения природных вод могут при этом функционировать в автоматическом, автоматизированном и «ручном» режимах.

При организации мониторинга на водных объектах, территория водосбора которых находится в зоне влияния определенных производственных отраслей, систему наблюдений следует ориентировать на факторы воздействия, связанные именно с этим видом производств

(например, пестициды и удобрения в зоне сельскохозяйственного производства; нефтяные загрязнения на танкерных путях и на припортовых акваториях нефтяных терминалов).

При организации мониторинга загрязнения природных вод по микробиологическим и паразитологическим показателям могут использоваться как традиционные показатели, применяемые в отечественной практике оценки питьевых вод (общее микробное число, общее количество колиформных бактерий, количество цист лямблий и др.; см. подробнее СанПиН 2.1.4.1074-01 [6]), так и показатели, характеризующие содержание конкретных патогенных форм с учетом географического местоположения водного объекта.

**Некоторые требования к системам мониторинга водных объектов при оценке качества вод.** Можно сформулировать ряд требований, которые позволяют оптимизировать соотношение «затраты – информационная ценность». Можно выделить как минимальную следующую систему показателей:

- базовые параметры – уровень воды, скорость течения, расход воды, температура, содержание взвешенных веществ, растворенного кислорода, рН, электропроводность;
- геохимические (фоновые) параметры, отражающие геологическое строение бассейна – общая жесткость, щелочность, кальция, магний и т.д.;
- параметры, характеризующие влияние хозяйственной деятельности на качество вод, прежде всего биогенные вещества (соединения азота, фосфора, ХПК, БПК и др.);
- тяжелые металлы, радиоактивность и органические микрозагрязнения;
- гидробиологические показатели.

В США загрязняющие вещества (всего 129 элементов или соединений) были сгруппированы в 10 групп, в том числе: пестициды, тяжелые металлы, полихлорированные бифенилы, алифатические соединения, фенолы, полициклические ароматические углеводороды, нитрозамины. Среди наиболее часто встречающихся металлов отмечены медь, свинец и цинк; для органических веществ характерен более разнообразный спектр веществ, что означает учет «индивидуальности» каждого водного объекта. Это возможно при проектировании системы МВО.

Среди компонентов мониторинга наибольшую сложность представляет анализ органических веществ. Под влиянием комплекса физико-химических и биологических факторов они образуют еще большее число производных. Практически количество регистрируемых показателей исчисляется несколькими десятками. Известно много случаев, когда содержание измеряемых веществ намного ниже ПДК, а вода проявляет значительную токсичность вследствие синергизма компонентов или наличия неучтенных ингредиентов. Это демонстрирует недостаточную информативность гидрохимических показателей. Системы МВО необходимо базировать как на гидрохимических, так и на гидробиологических показателях.

**Статистические требования к данным мониторинга.** Следует учитывать стохастическую природу показателей качества природных вод, которые фиксируются службами мониторинга. Необходимо проводить статистическую обработку данных наблюдений, учитывая при этом, что распределение показателей часто не подчиняется нормальному закону. Кроме статистической обработки данных необходимым этапом анализа временных рядов наблюдений является оценка однородности рядов и трендов изменения показателей.

**Предпроектное обследование при мониторинге водных объектов.** Предпроектное обследование предполагает сбор (в рамках уже существующих сведений) имеющейся информации о состоянии выбранного водного объекта, а именно [1]:

- подробную физико-географическую характеристику (основные морфометрические показатели, геоморфология, гидрологический и термический режимы, описание климата, почв, животных и растительных составляющих гидробиоты и прибрежной суши, с оценкой экосистемных связей гидробиоты;

- гидрофизическую, гидрохимическую и гидробиологическую характеристику воды и донных отложений;

- характеристику основных притоков, оказывающих влияние на формирование качества вод обследуемого водного объекта;

- оценку возможного влияния территории водосбора и атмосферного переноса на качество вод;

- оценку основных источников негативного антропогенного воздействия на формирование качества вод и их характеристику;

- характеристику хозяйственной и социальной инфраструктуры, вред которой может быть нанесен при экстремальном загрязнении вод;

- характеристику демографического и социального состава населения, для которого экологические риски могут реализоваться в определенный вред здоровью или в социальные ущербы;

- анализ существующей наблюдательной сети и системы мониторинга водных объектов, включая её технологическую платформу;

- анализ существующего информационного обмена между организациями, осуществляющими контроль состояния водных объектов в пределах выбранного для обследования объекта;

- определение основных научных и функциональных принципов проектируемой системы мониторинга и его технологической платформы.

Предпроектное обследование является источником большого объема информации, которая должна быть структурирована и представлена в виде системы баз данных или в составе управляющего хранилища, что одновременно является первым этапом создания многофункциональной информационной системы мониторинга водных объектов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-05-00842.*

## Библиографический список

1. Авандеева О.П., Степановская И.А., Баренбойм Г.М. Проектирование информационной системы мониторинга качества вод (с учетом особенностей нефтегенного загрязнения) // Ресурсы и качество вод суши: оценка, прогноз и управление. Сборник трудов Второй открытой конференции Научно-образовательного центра, 20–21 декабря 2012 г. М.: ИВП РАН, Кафедра гидрологии МГУ им. М.В. Ломоносова, 2012. С. 12–26.

2. Отто М. Современные методы аналитической химии. М.: Техносфера, 2008. 544 с.

3. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектах рыбохозяйственного значения» (утв. приказом Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20).

4. Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (утв. распоряжением Правительства РФ от 8 июля 2015 г. N 1316-р).

5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ГН 2.1.5.1315-03).

6. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспе-

чению безопасности систем горячего водоснабжения». URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798042>.

7. Chemical Abstracts Service (CAS). URL: <http://www.cas.org/>.

8. Dara L. A Strategic approach to risk based regulation by the EPA, Ireland. URL: [http://risksummit.eu/wp-content/uploads/2013/03/risk-based-regulation-by-the-epa-ireland\\_dara-lynott.pdf](http://risksummit.eu/wp-content/uploads/2013/03/risk-based-regulation-by-the-epa-ireland_dara-lynott.pdf).

9. Filimonov D.A., Lagunin A.A., Glorizova T.A., Rudik A.V., Druzhilovskii D.S., Pogodin P.V., Poroikov V.V. 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.

---

*Поступила в редакцию*  
26.05.2018