

МЕТОДЫ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С НЕГАТИВНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

А. В. Иванов, кандидат технических наук. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

А. В. Медимнов;

Н. В. Новикова. Центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург

Рассмотрены проблемы выявления аварийных и несанкционированных сбросов опасных веществ и связанных с ними антропогенным и техногенным загрязнением поверхностных и подземных вод. Приведены и систематизированы методы раннего обнаружения загрязнений гидросферы и нарушения видового баланса водных экосистем.

Ключевые слова: загрязнения водоемов, тест-методы исследования, экологический мониторинг

METHODS OF EARLY DETECTION OF EMERGENCY SITUATIONS CONNECTED WITH NEGATIVE INFLUENCE ON WATER ECOSYSTEMS

A. V. Ivanov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

A. V. Medimnov; N. V. Novikova. The Center of ecological safety of the Russian academy of science, Saint-Petersburg

Problems of revealing emergency and not authorized discharge of dangerous substances and anthropogenic and man-caused pollution of surface and underground water connected with it are considered. Methods of early detection of hydrosphere pollution and infringement of water ecological systems specific balance are resulted and systematized.

Key words: pollution of reservoirs, test-methods of research, ecological monitoring

При проведении криминалистических исследований и экспертиз по делам о расследовании чрезвычайных ситуаций (ЧС) экологических преступлений, связанных с загрязнением водной среды, в частности по ст. 250 УК РФ «Загрязнение вод», возникают проблемы, связанные с особенностями водного объекта как следовоспринимающего объекта по отношению к химическому следу, то есть к веществу, выделяемому слеодообразующим объектом. В реальных условиях следовоспринимающий водный объект – сложная динамическая система, включающая воду в жидком виде или в виде льда, донные отложения, водную биоту.

Классификация типичных следственных ситуаций, возникающих при расследовании ЧС техногенного характера, а также дел о загрязнении окружающей среды по признакам состава преступления по статьям 26 главы УК РФ, построена на основе наличия или отсутствия априорных сведений об источнике, времени, месте и составе загрязнения [1]. Практически неразрешимой является следственная ситуация, когда отсутствуют сведения обо всех четырех перечисленных обстоятельствах загрязнения. Такая ситуация может сложиться, например, при регистрации факта поступления в водозаборы города загрязнений, снижающих органолептические показатели качества воды. Первоочередная задача правоохранительных органов при этом состоит в обнаружении источника эмиссии и прекращении эмиссии загрязняющего вещества.

В последние годы внимание специалистов по ликвидации последствий ЧС и экологической безопасности привлекает также исторически сложившаяся ситуация, когда необходимо решать аналогичные проблемы, не имеющие криминальной природы. Речь идет

об обеспечении безопасности при прокладке продуктопроводов по дну акваторий, где в послевоенные годы проводили затопления неиспользованных запасов химического оружия. Неконтролируемые процессы коррозии стальных корпусов изделий уже привели к разгерметизации части боеприпасов, известны случаи поражения людей некоторыми рецептурами химического оружия, например загущенными ипритами.

В рассматриваемых ситуациях развитие негативного воздействия развивается по схеме: от неизбежного поражения элементов биоты водной экосистемы к возможному поражению людей. Рассмотрение водных экосистем как следовоспринимающих объектов по отношению к химическому следу, насколько нам известно, детально не проводилось, общие и частные особенности взаимодействия водной среды со слеодообразующим объектом – источником загрязнения в ходе образования химического следа, его миграции, трансформации и депонирования в водных экосистемах с криминалистической точки зрения ранее не рассматривались.

Нерешенные проблемы экоаналитики: экосистема как объект и индикатор химико-токсикологического воздействия

Особый раздел криминалистики, называемый «Криминалистическое исследование материалов, веществ и изделий», стал той фундаментальной и методической основой, на которой в последние годы развивается новый вид трасологии – изучение химических следов проявления нелегальной деятельности, отраженных в свойствах природных объектов. Естественно, что главным инструментом возникающей *экологической трасологии* является экологическая аналитика, но и методология экологической аналитики еще далека от окончательного формирования.

Экологическая аналитика широко использует методы оценки интегральных показателей изучаемых объектов, в качестве которых обычно выступают пробы, отобранные из гидросферы, атмосферы, почв, донных осадков, промышленных и бытовых отходов. Непосредственно измеряемое лабораторными и полевыми тест-методами суммарное свойство вещества, связанное с суммарным количеством вещества в изучаемом объекте, стало привычной основой интегральной оценки качества этого объекта. В данном случае под «веществом» не следует понимать пределенный аналит, а, скорее, неопределенную совокупность соединений, характеристики которых связаны с качеством объекта.

В экоаналитике приоритетными объектами изучения, естественно, должны быть не столько пробы природных и антропогенных объектов, сколько экосистемы – как единое функциональное целое живых и неживых компонентов. Экосистемы обладают эмерджентностью, то есть наличием у системного целого особых свойств, не присущих его подсистемам. К числу таких свойств можно отнести ассимиляционную емкость экосистем, характеризующую их самоочистительную способность, поэтому принцип эмерджентности – один из важнейших для экологического мышления, его необходимо учитывать также при экологическом контроле, экологической экспертизе и экологическом прогнозировании.

Возможен ли выбор аналитических параметров, отражающих не только состав и свойства вещества, но и эмерджентность системы? Если возможен, то как построить соответствующие тест-методы экоаналитики и во что выльется их инструментальное оформление? Могут ли на их основе быть созданы простые и надежные технико-криминалистические средства?

К настоящему времени хорошо изучены зависимости состава и свойств растворенного органического вещества (РОВ) вод, органического вещества почв и донных отложений от особенностей функционирования соответствующих экосистем и их компонентов. Например, суммарное количество и соотношение легкоокисляемых и трудноокисляемых РОВ позволяет судить о таких важнейших характеристиках водоемов, как первичная продуктивность и степень эвтрофирования, относительное содержание водорастворимых, трудноокисляемых и легкоокисляемых гуминовых веществ – о степени антропогенной нагрузки на почвы.

Отметим, что во всех случаях речь идет о совокупности органических веществ биогенного происхождения, равновесное содержание которых в гомеостазе экосистемы поддерживается метаболизмом элементов биоты и изменяется при любом негативном воздействии на эти элементы. Так, РОВ водоемов и водотоков представляет собой в основном смесь внешних метаболитов фитопланктона, зоопланктона, бактериопланктона со значительной добавкой продуктов биodeградации вещества наземных и почвенных стоков, а эмиссия в водоем угнетающих или стимулирующих биоту веществ любой априори неизвестной природы неизбежно приводит к нарушению равновесия процессов метаболизма и катаболизма биоты, что имеет откликом резкое изменение как общего содержания, так и лабильности (биодоступности) РОВ.

Таким образом, о состоянии экосистемы, то есть о степени ее отклонения от гомеостатической нормы за счет внешнего воздействия, например, аварийной или нелегальной эмиссии чужеродных (аллохтонных) веществ и о способности экосистемы к самоочищению, можно судить по состоянию растворенного органического вещества – внешнего метаболита биоты этой экосистемы.

Тест-методы внелабораторного исследования загрязненности водной среды

Существующие сегодня тест-методы можно разделить на селективные (качественный или полуколичественный анализ одного вещества) и неселективные (анализ суммарного содержания вещества или суммарного свойства среды), причем неселективные тест-методы фактически определяют значение интегральных показателей. Применение тест-методов в сочетании с методологией скрининга (отсевание заведомо пустых проб) в последние годы привело к появлению новой парадигмы аналитического контроля [2].

При создании новых тест-методов необходимо обратить внимание не только на измерение величин показателей (индивидуальных, обобщенных или интегральных), но и на поиск гидро-химических аномалий по качественному критерию «да – нет». Датчики гидрохимических аномалий должны быть неселективны и выдавать сигнал тревоги при любом значимом отклонении состояния непрерывно контролируемой среды от статистически нормального, должны обеспечивать автоматический поиск аномалий в режиме реального времени, а также длительное время работать без ревизии, обслуживания, заправки реагентами, быть простыми и недорогими [3].

Метод озонохемилюминесцентного контроля суммарного содержания РОВ в природных и сточных водах, основанный на связи количества РОВ, озонируемого в потоке водной пробы, и интенсивности возникающей хемилюминесценции, отвечает этим критериям [4].

Зависимость интенсивности сонолюминесценции (СЛ) от содержания неопределенно широкого круга возможных компонентов водных объектов, включая биотическое и антропогенное РОВ, также неселективна [5].

В результате проведенных исследований предложены два перспективных направления создания неселективных тест-методов и их инструментального оформления:

1. Предложен принцип *сонолюминесцентной спектроскопии возбуждения* (ССВ) и построен первый спектрометр, позволяющий регистрировать зависимость интенсивности люминесценции водных растворов органических и неорганических соединений от энергии ультразвукового воздействия, возбуждающего в потоке пробы мультипузырьковую кавитационную зону – источник СЛ [5, 6].

Установлено, что спектр возбуждения СЛ имеет сложный характер, закономерно зависящий от вида и концентрации растворенного вещества.

Показана применимость принципа ССВ для экспресс-обнаружения химических аномалий водной среды, возникающих при аварийном и нелегальном ее загрязнении.

2. Сформулирован принцип *молекулярной биоиндикации* состояния водных экосистем, основанный на определении общего содержания и окисляемости растворенного

органического вещества – совокупности внешних метаболитов аборигенных гидробионтов [7].

Принцип основан на известном положении, что содержание и лабильность растворенного органического вещества закономерно зависят от трофического статуса водных объектов и интенсивности антропогенной нагрузки на них [8].

Предложена молекулярная биоиндикация состояния водных экосистем по кинетическим параметрам реакции озонлиза молекул внешних метаболитов аборигенных гидробионтов.

Реализация предложенных принципов анализа привела к тому, что разработаны совместно с ЗАО «МЭЛП» (Санкт-Петербург), испытаны в лабораторных и экспедиционных условиях макетные и опытные образцы анализаторов, способные в реальном времени контролировать качество потока воды и за краткое время (100 – 300 с) оценивать соотношение легкоокисляемых и трудноокисляемых веществ в воде, почвах, донных отложениях, что является важнейшим показателем состояния изучаемого объекта, например, его биопродуктивности и/или испытываемой им антропогенной нагрузки.

Поиск аварийных и нелегальных сбросов при отсутствии априорных данных об источниках, времени, месте и составе загрязнения

Построение аппаратуры для поиска в акватории источника загрязнения и путей его распространения возможно лишь при выборе таких аналитических параметров водной среды, которые неизбежно претерпевают изменения при эмиссии загрязняющих веществ любой природы, способных оказывать негативное воздействие на водную среду, в первую очередь, на компоненты ее биоты. Напомним, что общее количество и свойства РОВ зависят от функционирования фитопланктона, зоопланктона и бактериопланктона, а потому крайне быстро принимают аномальные значения в местах загрязнений [7].

Для решения задачи предложено использовать аппаратуру, способную регистрировать три интегральных показателя качества водной среды, аналитическим параметром которых служит изменение фототока хемилюминесценции, возникающей при озонлизе растворенного органического вещества (РОВ) вод [3].

Первый интегральный показатель – интенсивность озонохемилюминесценции (ОХЛ) потока водной пробы, непрерывно подаваемой в установленный на поисковом судне анализатор. Интенсивность ОХЛ пропорциональна общему содержанию РОВ биогенного происхождения, сигнал анализатора при его градуировке может быть выражен в единицах химического потребления кислорода.

Второй интегральный показатель – скорость озонлиза РОВ, описываемая кинетическим уравнением реакции псевдопервого порядка. Негативное воздействие любой природы на биоту приводит к снижению содержания легкоокисляемого РОВ, то есть к снижению скорости реакции озонлиза в ее начальной стадии.

Третий интегральный показатель – химическое тушение ОХЛ периодически инжектируемого в поток водной пробы контрольного вещества. Высокую эффективность динамического тушения люминесценции проявляет большинство ксенобиотиков и других опасных соединений, в частности, ионы переходных металлов, металлоорганические соединения, органические нитро-, amino-, галоген-, серусодержащие соединения различной структуры и природы.

Система поиска аварийных и нелегальных сбросов включает линию непрерывной подачи забортной воды с возможностью ее отбора на фиксированной глубине по ходу судна или отбора с различных глубин на станциях, систему генерации озона в избыточном количестве по отношению к содержанию РОВ, озонлитический проточный реактор, где смешивается поток водной пробы и поток озонвоздушной смеси, устройство для периодической остановки потока пробы, что позволяет зарегистрировать по изменению интенсивности ОХЛ кинетическую кривую реакции озонлиза РОВ пробы, заключенной в

объеме проточного реактора в момент остановки потока, устройство для периодической инъекции в поток водной пробы раствора контрольного вещества, ОХЛ которого может подвергаться химическому тушению. В качестве контрольного вещества использовали водные растворы соединений с высоким квантовым выходом люминесценции, например, родаминов.

В июне 2007 г. с помощью описанной системы, установленной на баке судна «Редут», был найден на Свердловской набережной Невы источник ранее обнаруженного загрязнения ковша водозабора – нелегальный стационарный сброс одной из ТЭЦ Санкт-Петербурга. Кроме того, с борта патрулирующего судна были обнаружены и зафиксированы проявления ранее неизвестных (предположительно нелегальных) стационарных сбросов в районе устья Тосны.

Особенности мелководных водоемов как следовоспринимающих объектов

В случае необходимости поиска химического следа в следовоспринимающем водном объекте спустя достаточно длительный период после события нелегальной эмиссии загрязняющего вещества, необходимо отчетливо представлять пути миграции и возможные места депонирования вещества химического следа. Наиболее удобно изучать механизмы перераспределения вещества в системе вода-лед-донный осадок на примере изменения суммарного содержания органического вещества биогенного происхождения, всегда присутствующего во всех компонентах водных объектов.

Широко применяются окислительные методы определения ИП, связанные с общим содержанием органического вещества (бихроматная окисляемость, перманганатная окисляемость, но, по нашему мнению, наиболее удобным аналитическим реагентом является озон как более сильный окислитель, способный к тому же вырабатываться аналитическим прибором из атмосферного воздуха непосредственно в процессе анализа. Озон, как аналитический реагент, широко применяют в приборах для люминесцентного озонметрического определения оксидов азота в атмосферном воздухе, а люминесцентная озонметрия конденсированных сред (ЛОКС) до сих пор не имела развития, несмотря на ее очевидные достоинства: нет необходимости подготовки реагентов, нет образования опасных отходов, легкость автоматизации, легкость поглощения избытка озона (например, активированным углем).

Методом добавок известных количеств гумата натрия к пробам природной воды и сухим измельченным пробам донных отложений были определены поправочные коэффициенты для сопоставления интенсивностей ОХЛ с учетом условий озонлиза и светосбора люминесцентного излучения из твердых и жидких проб, что позволило определить методом ЛОКС относительное содержание органического вещества в пробах льда (после оттаивания), воды и донного осадка без извлечения органического вещества из матриц.

Моделирование в лаборатории процесса замерзания неглубоких (промерзающих до дна) водоемов и исследование аппаратурой ЛОКС проб льда, воды и донных отложений в репрезентативных точках системы Суздальских озер в зимний и весенний период подтвердило наше предположение о существовании ранее неизвестного криогенного механизма самоочищения водной среды, связанного с депонированием и накоплением загрязняющих веществ в донных осадках.

Суть этого механизма в том, что при скоростях течения до 0,2 м/с и соответствующих метеорологических условиях процесс льдообразования носит характер направленной кристаллизации с движением ее фронта строго «сверху вниз» [9]. Нам удалось экспериментально подтвердить, что в естественных условиях фронт направленной кристаллизации льда выталкивает примеси из водного раствора и переносит их в слой донного осадка, где за счет процессов сорбции и затрудненности диффузии в межчастичном пространстве примеси удерживаются и после оттаивания водоема, которое на малых

глубинах начинается «снизу вверх». Коэффициент обогащения растворенным органическим веществом водной среды межчастичного объема донного осадка по сравнению с исходной водной средой составляли в различных сериях модельных экспериментов от 60 до 280, общее содержание органического вещества в донных осадках достоверно связано с условиями льдообразования.

Таким образом, можно сформулировать *вывод*, что если между моментом нелегальной эмиссии загрязняющего вещества в водоём и моментом начала поиска этого вещества с целью его экспертно-криминалистического исследования происходило замерзание и оттаивание водоёма, то обнаружить вещества химического следа максимально вероятно в пробах донного осадка, отобранных на малой глубине (меньше глубины промерзания водоёма) в местах с минимальными скоростями течения воды.

Обсерватория экологической безопасности и выявление экологических преступлений

Обсерватория экологической безопасности – новый, создаваемый Российской академией наук инструмент непрерывного наблюдения в реальном времени за состоянием объектов окружающей среды с целью раннего выявления, локализации и идентификации угроз экологической безопасности, связанных, в первую очередь, с эмиссией опасных веществ (аварийных и нелегальных сбросов и выбросов).

В отличие от большинства наблюдательных систем (обсерваторий), обсерватория экологической безопасности (ОЭБ) не может быть локализована в географической точке или небольшом регионе, она должна представлять собою сеть пространственно распределенных обсервационных пунктов, охватывающих крупные экосистемы – моря, океаны, континенты или их географические и климатические провинции, объединенные по принципу экосистемного единства: приполярные, таежные, лесостепные и т.п.

Одним из направлений развития ОЭБ является создание специализированных морских обсерваторий экологической безопасности (МОЭБ), способных контролировать состояние и загрязненность не только прибрежных вод, но и протяженных морских и океанских акваторий.

Основными структурными рабочими единицами ОЭБ и МОЭБ являются обсервационные пункты; от их расположения, алгоритмов их работы и правильности выбора контролируемых ими показателей зависит эффективность работы всей системы.

1. Общее назначение и основные типы обсервационных пунктов

Обсервационный пункт предназначен для непрерывного получения и первичной обработки информации, по которой можно судить о возникновении угроз экологической безопасности.

В отличие от различных существующих систем экологического контроля и мониторинга, ОЭБ нацелены на раннее выявление угроз экологической безопасности, связанных с антропогенным негативным воздействием согласно Федеральному Закону «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. Статья 16 ФЗ определяет приоритетные негативные воздействия на окружающую среду как воздействие эмиссии загрязняющих веществ, воздействие тепловых и электромагнитных полей.

Именно эта особенность ОЭБ диктует принципы построения, размещения и функционирования обсервационных пунктов.

Обсервационный пункт обсерватории экологической безопасности – автоматическая или обитаемая станция, имеющая датчики состава и/или состояния объектов окружающей среды, систему первичной обработки получаемой информации, систему контроля географических координат и двустороннюю связь с другими обсервационными пунктами и с ситуационным центром ОЭБ (таблица).

Таблица. Примеры возможных решений наблюдательных пунктов ОЭБ

Наблюдательные пункты ОЭБ	Контактные	Дистанционные
Стационарные	Буйковые станции в морских и речных акваториях, станции в опорах мостов, в гидросооружениях. Пришвартованные плавсредства с аппаратурой. Станции «на трубе» (выпуски, водотоки, линии технологических циклов). Автоматические станции контроля воздуха	Наземные ультразвуковые локаторы (сонары), а также зондирующие системы в оптическом и радиодиапазонах (лидары, радары)
Мобильные	Судовые, автомобильные, железнодорожные лаборатории. Системы автоматических датчиков, базирующиеся на транспортных средствах общего назначения – гражданских и военных	ИСЗ, аэролаборатории на самолетах, вертолетах, системы датчиков на специальных беспилотных аппаратах

2. Наблюдательные пункты как «паутина датчиков» (SensorWeb)

Паутина датчиков (ПД) – это современная концепция макроприбора, реализующего пространственно-временное восприятие окружающего мира с помощью согласованных действий множества разнородных измерительных устройств: наземных и орбитальных, стационарных и мобильных. Каждое из этих устройств общается со своими соседями. Таким образом, информация перераспределяется по всему макроприбору, что позволяет измерительным устройствам корректировать свою работу, «приспосабливаясь» к изменению окружающих условий и «предугадывая» эти изменения.

Концепция ПД разработана в Лаборатории реактивного движения Калифорнийского технологического института по заказу ПАСА [10].

Нам она представляется перспективной для построения системы наблюдательных пунктов ОЭБ, поскольку применяемый в ПД прием корреляции результатов разнородных измерений в пространстве и времени дает возможность отследить пространственно-временную динамику, связанную с исследуемым феноменом; в нашем случае – с уровнем негативного воздействия на окружающую среду, то есть с уровнем экологической безопасности.

3. Особенности наблюдательных пунктов для выявления контактными методами угроз экологической безопасности, связанных с эмиссией загрязняющих веществ в водную среду

Существующая система экологического контроля основана на принципе попарных покомпонентных оценок, когда для каждого контролируемого вещества сопоставляют измеренную концентрацию с предельно допустимой концентрацией в фиксированных точках в фиксированные моменты времени. По состоянию на сентябрь 2006 г. синтезировано свыше

88 миллионов соединений, около одного процента из них используют в мировом хозяйстве. Очевидно, что оперативный контроль по всем потенциально опасным соединениям принципиально невозможен.

Поэтому происходит постепенный переход от системы попарных покомпонентных оценок к системе интегральных показателей (суммарное количество вещества) и обобщенных показателей (суммарное свойство вещества). Теоретические основы таких многокритериальных оценок заложены В. В. Дмитриевым [11], количественные экометрические измерения возможны по методу В. К. Донченко [12]. Правильный выбор показателя, изменения которого не могут не произойти при любом виде негативного воздействия, является непременным условием информативности и достоверности результатов измерений, получаемых обсервационными пунктами. Возможно непрерывное измерение традиционных параметров, таких как электропроводность воды, температура, окислительно-восстановительный потенциал, концентрация ионов водорода, концентрация активных форм кислорода и т.п., но главный объект исследований – это растворенное органическое вещество (РОВ) вод, органическое вещество почв и донных отложений.

По содержанию и свойствам РОВ можно судить о биологической продуктивности воды, возможности развития в ней гетеротрофных организмов [8]. Для оценки качества среды важно не только суммарное содержание органического вещества, но и его устойчивость: доля лабильного органического вещества (ЛОВ) определяет условия существования фито-, зоо- и бактериопланктона, и наоборот, поэтому мы постулируем невозможность любого внешнего негативного воздействия на природные воды, которое не приводит к изменению равновесия процессов цитолиза и пиноцитоза, то есть к изменению состава и свойств РОВ.

То же относится к составу и свойствам органического вещества почв и донных осадков.

Благодаря появлению работающих в реальном масштабе времени датчиков [4–6], возникает возможность создать уникальную систему *неспецифической химической разведки*, способную поднять тревогу при попадании в водную среду любого априори неизвестного токсичного вещества.

Налажен выпуск совместно с ЗАО «МЭЛП» портативного автоматического монитора OSM, который в реальном масштабе времени без ревизии, обслуживания и заправки реагентами ведет непрерывное измерение в потоке водной пробы. Монитор OSM является первым прибором нового класса аппаратуры, называемого «датчики экологической сигнализации» [3]. В основу применения OSM для поиска химической аномалии (зоны химико-токсикологического воздействия) в водной среде положен эффект изменения свойств внешних метаболитов клеток простейших планктонных организмов под действием токсичных соединений, что приводит к появлению резких локальных градиентов содержания растворенных органических веществ биогенной природы. Поскольку перечень подавляющего большинства токсичных веществ заранее не известен и отсутствуют предельные значения нормативов их концентраций в воде, критерием подачи сигнала тревоги и выявления места возможной угрозы экологической безопасности служит не факт превышения заданного уровня (порога) сигнала, а величина расстояния между экстремумами второй производной сигнала датчика.

При натурных испытаниях OSM в акваториях Финского залива, Онеги, Ладоги, Мариинской водной системы и Желтого моря с борта судна были зарегистрированы химические аномалии, характеризующиеся по времени минутами, по протяженности десятками метров. Подавляющее большинство этих аномалий удалось связать с источниками эмиссии химических поллютантов.

Именно этот датчик предназначен для работы на *первой ступени* МОЭБ. Группа таких датчиков экологической сигнализации, установленных на буйковых станциях и в опорах гидросооружений, а также на патрулирующих или выполняющих маневры поиска судах способны обеспечивать непрерывный процесс химической разведки. Для этого прибор

определяет аномалии в потоке пробы воды, непрерывно подаваемой с поверхности или с различных глубин по трос-кабель-шлангу от буксируемых аппаратов, траектория которых может точно повторять рельеф дна (ГУП ЦНИИ «Гидроприбор»), или телеуправляемых аппаратов с телекамерами, способных взять пробы воды и донных осадков в непосредственной близости от возможного источника загрязнения (ЗАО «Интершельф»).

Сигнал тревоги от датчика экологической сигнализации – монитора OSM является также сигналом для передачи пробы на *вторую ступень* МОЭБ – экспресс-определение токсических свойств пробы методом биотестирования.

В настоящее время в ГЭТУ (ЛЭТИ) создан вариант прибора «Биотестер» для экспресс-анализа (несколько минут) токсичности проб воды по хемотаксису нескольких видов тест-объектов. Хемотаксис регистрируется в капиллярной кювете, что позволяет применять прибор во внелабораторных и судовых условиях.

Факт определения токсичности пробы является сигналом для передачи пробы на *третью ступень* МОЭБ – идентификацию токсикантов, производимую с помощью химико-аналитической аппаратуры высокого уровня, в частности, высокоэффективных хроматографов и хромассов. Выбор, создание и отработку методик, подбор аппаратуры на российском и мировом рынке ведут многие существующие организации, структуры третьей ступени могут и не входить непосредственно в состав МОЭБ.

В случае необходимости, может быть реализована *четвертая ступень* открытой иерархической системы МОЭБ – ступень судебно-экспертного исследования в существующих экспертных и арбитражных лабораториях.

Предлагаемая система, кроме возможности поиска химических аномалий в реальном времени путем неспецифической химразведки, имеет еще одну уникальную особенность – отсев «пустых» проб при переходе на каждую следующую ступень. Такой процесс называется *скрининг*. МОЭБ производит скрининг не только отдельных проб, как это принято в химико-аналитической практике, но впервые переходит к скринингу протяженных акваторий в пространстве и во времени, отбирает пробы только в случае нахождения биохимических аномалий, что крайне важно, поскольку аналитическое определение и идентификация следовых количеств токсичных веществ это не только длительный, но и очень дорогой процесс. Существующая методология контроля водной среды, когда измерительные аналитические процедуры начинают с применения хроматографов и хромассов, неизбежно приводит к огромным неоправданным затратам при попытках детального оконтуривания опасных зон, а главное, не обеспечивает необходимой оперативности выявления угрозы и экологическую безопасность.

Применение предлагаемой иерархической системы ОЭБ позволит передать на высшую ступень, где установлены «дорогие» анализаторы, только те пробы, что отвечают критериям «есть химическая аномалия» и «есть токсичность». Таким образом, дорогостоящий длительный процесс идентификации угрозы происходит, во-первых, после выявления факта угрозы ЧС и немедленного принятия мер по защите от нее и, во-вторых, только в том случае, если угроза действительно существует.

Литература

1. Воронцов А. М., Никанорова М. Н., Тангиев Б. Б. Классификационный анализ экологической преступности как метод выявления приоритетных угроз экологической безопасности // Правовые основы обеспечения экологической безопасности: материалы науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 27–28 нояб. 2006 г / Институт Генеральной прокуратуры РФ. – СПб., 2006. – С. 48–56.

2. Золотов Ю. А. Новая парадигма экологического контроля // Экология и промышленность России. – 2006. – №3. – С. 38–40.

3. Воронцов А. М. Развитие методов, приборных средств и систем обеспечения экологической безопасности водных объектов // Аналитические приборы: тез. докл. 2 Всерос. конф.. – СПб.: Российская академия наук, 2005. – С. 20–22.

4. Воронцов А. М., Никанорова М. Н., Мелентьев К. В. Экспресс-контроль суммарного содержания органических веществ в водной среде методом озонохемилюминесценции // Водные объекты Санкт-Петербурга / под ред. С. А. Кондратьева и Г. Т. Фрумина. – СПб., 2002. – С. 73–79.
5. Свидетельство на полезную модель № 28393. Устройство для звуколюминесцентного контроля примесей в проточной воде / А. М. Воронцов, Р. Ц. Гулиянц, Д. В. Конченко, М. Н. Никанорова, К. В. Мелентьев, В. В. Хиценко, Л. Е. Шейнман., приоритет от 11.06.2002. – Зарегистр. в Госреестре полезн. моделей РФ 30.03.2003.
6. Сонолюминесцентный метод оперативного контроля качества природных вод / А. М. Воронцов, А. П. Пацовский, М. Н. Никанорова, Г. Б. Кривцова // Журнал прикладной химии. – 2008. – Т. 81. – Вып. 1. – С. 59–64.
7. Создание тест-методов скрининга следовых количеств загрязняющих веществ в водных объектах опорной сети экологической безопасности / А. М. Воронцов, М. Н. Никанорова, А. П. Пацовский [и др.]: отчет о НИР, № 01200402661. – СПб., 2006. – 142 с.
8. Мусатов А. П. Оценка параметров экосистем внутренних водоемов. – М.: Научный мир, 2001. – 192 с.
9. Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 243 с.
10. Delin K. A., Jackson S. P., Some R. R. Sensor Webs // NASA Tech Briefs. – 1999. – Vol. 23. – P. 80.
11. Дмитриев В. В. Что такое экологическая оценка и как построить интегральный показатель состояния природной или антропогенно-трансформированной экосистемы // Вопросы прикладной экологии. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2002. – С. 23–30.
12. Донченко В. К. Экометрия: системно-аналитический метод эколого-экономической оценки и прогнозирования потенциальной опасности техногенных воздействий на природную среду // Инженерная экология. – 1996. – № 3. – С. 45–61.