

## О методах исследования и контроля объектов окружающей среды

Ильяшева Екатерина Владимировна, кандидат технических наук, доцент  
НИУ Московский институт электронной техники (г. Москва)

Экология, относительно молодая наука, бурно начала развиваться только с 1935 года, когда английский геоботаник Артур Тенсли сформулировал понятие «экосистема». Сегодня мы слышим этот термин все чаще и в основном в контексте негативного антропогенного влияния на окружающую среду. Сложность заключается в том, что человек сам является частью экосистемы, и, следовательно, не может объективно оценивать ее устойчивость. Задача экологии, как науки, звучит (в теории) просто: надо оптимизировать отношения человека с биосферой. На практике же это труднодостижимо. Что мы имеем в качестве методов исследования? Наблюдение, описание и моделирование, в том числе математическое моделирование. Поставить прямой эксперимент в экологии, к сожалению, невозможно.

Как тогда осуществляется наблюдение? На сегодняшний день в арсенале человека есть достаточно большое разнообразие средств экологического мониторинга, которое позволяет оценить состояние природных сред. Задействованы разные методы качественного и количественного анализа: физические (магнитная спектроскопия, масс-спектрометрия, рентгеноспектральный анализ), химические (гравиметрические, титриметрические), физико-химические (спектральные, электрохимические, хроматографические), биологические (биоиндикация, биотестирование).

С другой стороны, растет число веществ, содержание которых, казалось бы, нужно контролировать. Известно, что для природных вод предельно допустимые концентрации (ПДК) установлены приблизительно на полторы тысячи веществ. Увеличивается число требующихся анализов даже на самые распространенные загрязнители. Появляются новые типы самих объектов, которые желательно контролировать. Таким образом, обязанности аналитиков, контролирующих служб (по всему миру) при этом должны непомерно множиться.

Дело осложняется и тем, что часто применяемая ныне общая методология анализа и контроля объектов окружающей среды не позволяет решать усложняющиеся задачи. Постоянно появляются новые виды химических соединений, многие из которых вряд ли можно отнести к безопасным для окружающей среды.

Выход, по-видимому, состоит в изменении самой методологии, общих подходов к анализу и контролю.

Концепция контроля объектов окружающей среды в части определения их химического состава может включать несколько тесно связанных между собой элементов. Из них рассмотрим шесть:

1. Двухступенчатый анализ
2. Использование обобщенных показателей
3. Распознавание образов
4. Перемещение анализа из лабораторий вовне

5. Массовое использование мобильных средств анализа

6. Автоматизация анализа.

Двухступенчатый анализ представляет собой скрининг проб. Это намного облегчает и упрощает контроль. На этом первом этапе отбраковываются пробы, давшие отрицательный результат при упрощенной оценке присутствия или отсутствия искомого вещества. Отрицательный результат — т.е. данные об отсутствии искомого вещества или, точнее, об их возможном присутствии ниже заданного предела концентрации — считается окончательным, и к этим пробам больше не возвращаются. Образцы, давшие положительный результат, проходят на вторую стадию анализа, на которой используют более прецизионные методы.

На первой стадии удобны недорогие и простые средства, ибо здесь задача — обеспечить массовость и экспрессность оценки [1].

Вторым важным элементом методологии можно считать гораздо более широкое, чем сейчас, использование обобщенных, интегральных показателей. На этом пути мы хотя бы частично уходим от наиболее трудоемкого покомпонентного анализа. Обобщенные показатели особенно ценны, понятно, на первом этапе контроля.

Важно развернуть исследовательскую работу по отысканию новых обобщенных показателей, по их проверке и «вписыванию» в систему многоэтапного анализа.

В будущем, по-видимому, можно будет исключить из использования некоторые широко известные, но несовершенные показатели, как, например, биологическое потребление кислорода и усовершенствовать другие (химическое потребление кислорода, общий органический углерод, тесты на сумму тяжелых металлов и др.).

Особого внимания заслуживает создание и улучшение биотестов, прежде всего на воду. Но они должны быть быстрыми, дешевыми, основанными на применении доступных, долго хранимых, перевозимых организмов. Биотесты должны быть выполнимыми в полевых условиях, т.н. простыми. Существующие правила требуют также, чтобы они были аттестованы. К сожалению, отечественная нормативная база по биотестам пока довольно слаба.

Биотесты применяют на самом первом этапе контроля.

Еще одним способом уйти от покомпонентного анализа — на этот раз почти совсем — является использование подхода, получившего название «распознавание образов». Распознавание общего образа объекта исследования с помощью, прежде всего электронного языка и электронного носа в практике анализа объектов окружающей среды пока не ис-

пользуется. Однако по мере распространения коммерческих технических средств указанного типа этот прием, наверняка, будет применяться и в рассматриваемой нами области. Например, электронный язык будет свидетельствовать об изменении состава воды [2].

В ряде случаев рассматриваемые системы могут быть использованы и для контроля загрязнений.

Очевидным и уже работающим элементом обсуждаемой концепции является перемещение химического анализа из стационарной лаборатории к тому месту, где находится анализируемый объект, в поле.

Достоинства внелaborаторного анализа очевидны. Экономятся время и средства на консервацию и транспортировку проб. Можно анализировать образцы фактически в режиме реального времени. При полевом анализе часто используют более простые и дешевые средства, чем в лаборатории, и, следовательно, снижаются требования к исполнителям. Еще важнее то, что есть объекты, которые трудно анализировать в лаборатории или это вообще не имеет смысла. Это относится к лабильным образцам, к чрезвычайным ситуациям, в том числе и природного происхождения [1].

Полезно сохранять контрольные пробы для периодической проверки в лабораторных условиях, тем более что некоторые тест-средства легко позволяют это делать, как, например, в случае таблеток из пенополиуретана с хемосорбированными на них определяемыми веществами.

Разумеется, самые сложные анализы самых сложных объектов в поле проводить, пока не удастся.

Обеспечению массового анализа, его доступности, особенно в полевых условиях, способствует создание и широкое использование мобильных средств анализа.

В принципе, арсенал мобильных средств включает подвижные лаборатории на автомобилях, катерах, железнодорожных вагонах, вертолетах и самолетах. Далее это портативные приборы, в том числе карманных размеров; химические и биохимические тест-наборы, тест-системы, а также — в основном в будущем — системы химических сенсоров. В этом ряду подвижные лаборатории — средство, конечно, паллиативное, промежуточное между стационарными лабораториями и системами портативных устройств.

Существенным условием осуществления массовых анализов является, конечно, их автоматизация. Один вариант — это создание автоматически работающих в непрерывном режиме станций и постов, контролирующих состав воздуха и воды. Так, в Москве функционирует 37 станций анализа воздуха, они определяют содержание CO, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, некоторых органических веществ. Однако самые токсичные органические соединения таким способом определять не удается [3].

Другой вариант — это автоматизация массового лабораторного анализа, прежде всего воды. Много сделано, в частности, на пути использования (но больше разработки) таких методов, основанных на проточно-инжекционном анализе и его аналогов.

Это, несомненно, перспективный путь. Не будем забывать, что многие современные приборы в большой степени сами по себе автоматизированы.

Есть, вообще говоря, еще один элемент общей методологии — организационный. В России, несмотря на принятое давно уже решение о создании единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ), до сих пор не достигнута гармонизация требований, подходов, методической базы между разными ведомствами — Минприроды, Росгидрометом и др.

Один из элементов мониторинга природной среды — биологический мониторинг — система наблюдения, оценка и прогноз любых изменений в биоте, которые вызваны факторами антропогенного происхождения. Структура биологического мониторинга отличается достаточно высокой сложностью. Он состоит из ряда подпрограмм, в основе лежит принцип организации биологических систем. Например, генетический мониторинг согласован с субклеточным уровнем организации, экологический мониторинг соответствует популяционному и биоценологическому уровням. Каждый уровень включает свой набор биологических переменных.

Самый распространенный пример экстремальной реакции живого на сильное воздействие вредных факторов — массовая гибель животных и растений. Если в природе мы наблюдаем массовую гибель насекомых, животных, рыб или растений, это говорит о том, что на территории имеют место факторы, которые вызвали это явление. О вышеуказанном факте необходимо поставить в известность соответствующие службы и принять меры к его устранению [1,4].

Другой вид реакции живых организмов на менее сильное воздействие вредных факторов — угнетение состояния, замедление роста, аномалии развития. Например, при попадании избытка отдельных элементов в почву, листья растений приобретают неестественную окраску [5].

Перейдем к рассмотрению особых методов исследования и специфичному контролю объектов окружающей среды. Данные методы также построены на основе индикаторных видов исследования и применяются для оценки состояния определенного объекта окружающей среды.

Итак, определим далее, что такое биоиндикация. Это обнаружение и определение, в частности, оценка качества среды обитания и ее отдельных элементов по состоянию биоты в природных условиях. С целью контроля изменений среды под воздействием антропогенного фактора формируются перечни индикаторных организмов.

Биоиндикатор представляет собой группу особей одного вида или сообщества, по наличию или по состоянию которых делают вывод о естественных и антропогенных изменениях в среде.

В связи с тем, что изменения биологических систем, как правило, объясняются антропогенными факторами, биоиндикация — это обнаружение и определение биологически и экологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ.

При помощи биоиндикаторов возможно обнаружение места скопления в экологических системах

различного рода загрязнения; возможно, отследить скорость изменений, которые происходят в природной среде; по биоиндикаторам, возможно, сделать вывод о степени вредности тех или иных веществ для живой природы. У живых биоиндикаторов есть преимущества по сравнению с химическими методами оценки состояния природной среды, широко используемыми в настоящее время:

- они объединяют все биологически важные данные о природной среде и характеризуют ее состояние в целом,
- на фоне хронической антропогенной нагрузки биоиндикаторы реагируют на незначительное влияние в силу кумулятивного эффекта,
- исключают целесообразность регистрации физических и химических показателей среды,
- делают необязательным использование дорогостоящих и трудоемких физических и химических методов для измерения биологических показателей; живые организмы постоянно присутствуют в природной среде и реагируют на кратковременные и залповые выбросы токсикантов, которые можно не зарегистрировать при помощи автоматической системы контроля с периодичным отбором проб на анализы,
- фиксируют скорость происходящих в природной среде изменений,
- указывают пути и места скопления различного рода загрязнений в экологических системах и возможные пути попадания этих веществ в пищу человека,
- дают возможность делать вывод о степени вредности синтезированных человеком веществ для природы и человека и дают возможность контролировать действие этих веществ,
- позволяют нормировать допустимую нагрузку на экосистемы, которые отличаются по своей устойчивости к антропогенному воздействию.

Биоиндикаторы раскрывают тенденции развития природной среды. Биоиндикация бывает нескольких форм. В случае, когда сходные реакции вызваны разными антропогенными факторами, речь идет о неспецифической биоиндикации. Если изменение связано с каким-то одним фактором, то биоиндикация специфическая [6].

По ответным реакциям на внешние воздействия биоиндикаторы могут быть отнесены к различным типам. У нескольких видов животных значительно изменяется численность популяций на фоне нарушения среды. Такие биоиндикаторы получили название количественных. Кроме того, бывают качественные биоиндикаторы – по их наличию дается характеристика среды.

### Литература:

1. Гидроэкологический мониторинг качества речных вод бассейна реки Амударья в пределах Узбекистана / Э. И. Чембарисов, Ж. Б. Мирзакубулов, М. Н. Рахимова, Б. О. Расулов, З. У. Тиллаева // Экология и строительство. - 2019. - № 1. - С. 12-18. -DOI: 10.35688/2413-8452-2019-01-002.
2. Яшин, В. М. Исследования источников диффузного загрязнения в бассейне реки Яхрома (Московская область) / В. М. Яшин // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»: материалы конф. - СПб. 2019. -С. 31-35.

Надежно классифицировать животных биоиндикаторов, создав их универсальную систему, невозможно. Реакция на загрязняющие вещества у животных различная.

Проведение биоиндикации возможно на различных уровнях организации биологических систем. Чем выше уровень организации системы, тем выше ее сложность, это объясняет введение биоиндикации более низкого уровня в более высокий. Основные уровни биоиндикации: биохимические и физиологические реакции, анатомические и морфологические, поведенческие и биоритмические отклонения, флористические и фаунистические изменения в сообществе.

При проведении биоиндикации имеет место ряд требований, соблюдение которых необходимо для получения достоверных результатов: относительная быстрота проведения исследований, получение достаточно точных и воспроизводимых результатов, достаточное количество объектов, используемых в биоиндикации, имеющих однородные свойства, диапазон погрешности не должен превышать 20%.

Сегодня, для каждого конкретного токсиканта необходим подбор соответствующих индикаторных видов. В последние годы в связи с быстрым развитием атомной энергетики возникла также необходимость выбора видов-индикаторов для оценки теплового и радиоактивного загрязнения среды.

**Вывод:** таким образом, в настоящей статье проведен общий обзор существующих методов экологического мониторинга, приведена концепция контроля объектов окружающей среды. Показано, что эффективными, на сегодняшний день, методами исследования и контроля объектов окружающей среды, являются:

- Внелабораторные методы анализа, так как позволяют экономить время и средства на консервацию и транспортировку проб и дают возможность анализировать образцы фактически в режиме реального времени;
- Скрининг, намного облегчающий и упрощающий контроль;
- Мобильные средства, включающие подвижные лаборатории на автомобилях, катерах, железнодорожных вагонах, вертолетах и самолетах.
- Автоматизированный анализ: автоматически работающие в непрерывном режиме станции и посты, контролирующие состав воздуха и воды на объектах окружающей среды.
- Биоиндикация, выявляющая малые, но вместе с тем опасные отклонения в природной среде, и позволяющая специалистам вовремя принимать меры по устранению или нейтрализации действия антропогенных факторов.

3. Маслова, А. А. Структура и техническая реализация автоматизированной системы мониторинга загрязнения водных объектов и атмосферного воздуха / А. А. Маслова, К. В. Гришаков // Современные проблемы экологии: сб. материалов XXIII Междунар. науч.-практ. конф. - Тула, 2019. - № 2. - С. 91-95.

4. Капустян, А. С. Перспектива применения геоинформационных технологий при ведении государственного водного реестра и мониторинга водных объектов / А. С. Капустян, А. Н. Рыжаков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. - 2018. - № 3(71). - С. 12-16.

5. Подходы к формированию информационной системы «Цифровая мелиорация» / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев, В. В. Слабунов, А. В. Слабунова, А. А. Завалин // Информационные технологии и вычислительные системы. - 2020. - № 1. - С. 53-64.

6. Слабунова, А. В. О проблеме диффузного загрязнения водных объектов / А. В. Слабунова, А. П. Сурувикина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. - 2020. - № 2(38). - С. 124-139.