ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Современные методы контроля химических веществ, загрязняющих окружающую среду, - это, по сути, Физико-химические методы. Иногда их объединяют термином “инструментальные методы анализа”. Данная тема огромна, поэтому мы рассмотрим лишь наиболее перспективные из физико-химических методов, оптимально сочетающие в себе целый ряд качеств: высокую точность и воспроизводимость результатов анализа, высокую чувствительность и, несмотря на эти жесткие требования, доступность аппаратуры и возможность быстрого освоения ее.

**Газовая хроматография (ГХ).** В основу метода газовой хроматографии положен следующий принцип: анализ смеси веществ в результате распределения компонентов между несмывающимися фазами, одна из которых подвижная - инертный газ (азот, гелий и др.), другая-неподвижная (высококипящая жидкость или твердая фаза).

Этот метод имеет два варианта: газоадсорбционная и газожидкостная хроматография.

Разделение компонентов смеси происходит в хроматографической колонке. Хроматографические колонки: набивные (длина -1-3м, диаметр-около 4мм, материал-стекло сталь и др.) и капиллярные (длина - до 50м,материал-стекло,кварц).

Выбор неподвижной фазы (Нф).Эффективность колонки(способность разделять сложные смеси на отдельные компоненты) зависит от размера частиц, на которые нанесена жидкая фаза. Она возрастает при использовании однородных частиц малого размера. Для стандартных набивных колонок оптимальный размер частиц 0,12-0,17 мм. Необхожимо учитывать их близость к анализируемым соединениям. Для анализа полярных компонентов применяют полярные фазы, для анализа неполярных компонентов - менее полярные или полностью неполярные.

Неполярные фазы для газоадсорбционной хроматографии силикагель, оксид алюминия, цеолиты, полимерные сорбенты ( например, полисорб, поропак и др.).

Наиболее употребляемые неподвижные жидкие фазы для газожидкостной хроматографии карбовакс, силиконовые элястомеры, апиезоны, твердый носитель - хроматов и др. Подвижные фазы азот, гелий, аргон, пары воды.

Детекторы. История развития газовой хроматографии - это история появления и развития детекторов для хроматографии. Применятся несколько типов детекторов.

1. Детектор теплопроводности (ДТП) или катарометр. Принцип его действия основан на различии теплопроводностей анализируемого вещества и газа-носителя.

2. В детекторе ионизационо-пламенном (ПИД или ДИП) ипользуется зависимость электропроводности пространства между электродами от числа находящихся в нем ионизированных частиц, которые образуются в водородном пламени под действием термичесих и окислительных процессов при попадании в него молекул анализируемого вещества. Выходным сигналом детектора является значение силы тока, протекающего между электродами под действиеи приложенного к ним напряжения.

3.Электронно-захватный детектор (ЭЗД),или детектор по захвату электронов, как и ДИП ,основан на зависимости электропроводности промежутка между электродами и числим ионов, находящихся в этом промежутке, которое связано с числом молекул, поступающих в детектор. Однако механизм и способ образования ионов принципиально отличаются от такового в случае ДИП - ионы образуются в результате взаимодействия молекул анализируемого вещества и потока электронов в камере детектора в результате бета-распада радиоактивного вещества.

Необходим очень чистый газ-носитель, например азот “ОСЧ”, не содержащий следов кислорода, который снижал бы чувствительность детектора ЭЗД.

Чувствительность определения зависит от наличия галоид-, нитро- и других групп, взаимодействующих с электронами.

Влияние галоидов в молекуле на чувствительность определения

Вещество Чувствиетельность, отн.ед

Хлорбутан 1

Хлорпентан 2 1

Хлоргептан 1,5

Дихлорбутан 15

Дихлорэтан 190

Бромбутан 280

Хлороформ 6 10

Дибромметан 1.1 ё0

4. Детектор термоионный (ДТИ) по принципу действия аналогичен ДИП. Однако дополнительно в водородное пламя непрерывно поступает поток ионов щелочных металлов ( калий, натрий, цезий ) В их присутствии резко возрастает эффективность ионизации соединений, содержащих азот, фосфор, хлор и др. ДТИ применяют для определения ФОС и азотосодержащих соединений.

5. Пламенно-фотометрический детектор (ПФД) селективен и обладает повышенной чувствительностью по отношению к соединениям, содержащих серу.

Качественный анализ состоит в сравнении периодов времениудерживания данного вещества на хроматограмме от момента ввода пробы в испаритель до момента, соответствующего максимальному значению сигнала для данного компонента.

Количественный анализ основан на прямо пропорциональной зависимости содержания вещества в пробе от площади пика данного компонента на хроматограмме. Расчет ведется в основном тремя методами.

1. Метод абсолютной калибровки заключается в построении графиков зависимости высоты или площади пика Х от содержани компонентов в смеси. Расчет ведетс по следующим формулам:

X= 1000 a/V

X = cV/V20,

где

a - содержание вещества, определенное по графику; мг

V - объем пробы вохдуха, вводимого в испаритель хроматографа, мл

с - концентрация вещества, расчитанная по графику, мг/мл

V20 - объем пробы воздуха, произведенный в стандартных условиях.

2. Метод внутреннего стандарта основан на введении в анализируемую смесь известного количества вещества, принимаемого за стандарт. По своим свойствам оно должно быть достаточно близко к анализируемым соединениям, но полностью отличаться от них по хроматограмме.

3.Метод норматизации площадей пиков. При этом сумму площадей всех пиков с учетом поправочных коэффицентов принемают за 100%.Для вычисления концентрации вещества (в объемных процентах) необпходимо его площадь умножить на 100 и разделить на сумму всех площадей. Метод прост, но может быть использован лишь тогда, когда все компоненты известны и полностью разделены.

Хроматографы сотоят из основных блоков: Блок подготовки газов, термостат колонок (в том числе испаритель) ,детектор и регистратор (самописец).

**Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ)-** хроматографический метод, позволяющий разделить высококипящие жидкости и (или) твердые вещества, которые затруднительно либо нецелесообразно определять метод газожидкостной хроматографии, например полициклические ароматические углеводороды, аминокислоты, ПАВ, пестициды, лекарственные препараты, углеводы и др.

Хроматограф состоит из:

- колонок из нержавеющей стали, толстостенного стекла, тантала или меди; диаметр-1-6 мм, длина -от 10- 15 см до 7м;

- пористых носителей: силикагель, хромосорб, биосил и др. с

- удельной площадью более 50 м/г и деаметр частиц 0,005-0,05 мм;

- детекторов: рефрактометрической с чувствительностью 10 г/мл, УФ-детектор с чувствительностью 10 и флуориметрический с чувствительностью 10 г/мл, а также электрохимический;

- подвижной фазы:ацетонитрил, метанол и др.

**Тонкослойная хроматография (ТСХ).** Разделение происходит на специальных пластинках для тонкослойной хроматографии. Неподвижная фаза в ТСХ: силикагель, оксид алюминия, ионообменные смолы с добавками крахмала и гипса.

Анализируемую смесь наносят на стартовую линию микрошприцем или микропипеткой. Пластинку или бумагу с нанесенной пробой помещают в закрытую камеру, содержащую растворитель, которой перемещается по слою сорбента (или по бумаге) под действием капиллярных сил. Компоненты смеси перемещаются вмемте с растворителем с различными скоростями. По окончании разделения пластинку или бумагу вынимают из камеры, испаряют растворитель, обрабатывая струей теплого воздуха. Определяемые вещества появляются на хроматограмме в виде пятен в результате обработки специальным реактивом (например, нингидрин при анализе аминокислот) или методом флюоресценции. Содержание анализируемого компанента пропорционально площади пятен. Количественную оцнку проводят или непосредственно на пластинке с помощью планиметра, или путем снятия окрашенного пятна с хроматограммы экстракции вещества растворителем и определение и определение его содержание фотометрическим методом или с помощью денситометра.

**Ионная хроматография (ИХ).** Объединяет принцип ионообменной хроматографии, включающей последовательное использование двух колонок, с кондуктометрическим детектированием. В основе этого метода-элюентное ионообменное разделение ионов на первой (разделяющей) колонке с последующим подавлением фонового сигнала элюента на второй (подавляющей) ионообменной колонке. Инообменные колонки заполняют неподвижными фазами, содержащими в своей структуре ионогенные группы, способные к реакции обмена и обладающие высокой проникающей способностью. При анализе катионов колонку для разделения заполняют сульфированными катионитами низкой емкости ,а подавляющую колонку-анионитом высокой емкости. В качестве элюентов используют растворы HCLl HNO3, гидрохлорида пиридина и др. В качестве подвижной фазы-растовра карбоната и гидрокарбоната натрия.

В последние годы развивается ионная хроматография без подавления фонового сигнала элемента и с различными способами детектирования: фотометрический, атомноабсорбционный, ионометрический (ионселективные электроды).

Достоинства метода: низкий предел определения - 1 10 мг/мл, селективность, возможность одновременного определения неорганических и органических ионов экспрессность, широкий диапазон определяемых концентраций.

Применяют отечественный хроматограф “Цвет-300б”, кондуктометрический детектор, микропроцессор. Предел обнаружения по хлориду натрия - 3,10 мг/мл.

**Хроматомасс-спектрометрия (ХМС)** - это в сущности газовая хроматография с масс-спектрометром в качестве детектора (например, МИ-1201). Даный метод позволяет расшифровывать состав сложных смесей, содержащих сотни неидетифицированных компонентов, и определять их по одной пробе.

**Полярография ( и вольтамперометрия).** Полярография - одно из элктрохимических методов анализа. Полярограмма - зависимость силы тока от величины приложенного напряжения на электроды.При этом методе не происходит физического разделения смеси на отдельные компоненты.В качестве катода чаще всего применяют ртутный капающий электрод (РКЭ), поверхность которого непрерывна обновляется, что позваляет получать полярограммы и проводить анализ с высокой воспроизводимостью результатов.

Прямое определение возможно лишь при наличие веществ, способных восстанавливаться на РКЭ: ионы металлов, органические соединения, содержащие галоид-, нитро-, нитрозогруппы, карбонильные соединения, пероксиды, эпоксиды, дисульфиды, и т. д.Это несколько ограничевает возможности метода, однако при определение полягрофических активных соединений позволяет достичь высокой слективности определения без предворительнонго разделения сложных смесей на отдельные компоненты.

Основные типы полярографии - постоянно-токовая (классическая) и переменно-токовая.Прследняя имеет различные названия (подразделы): в зависимости от формы амплитуды переменного тока - квадратно-волновая, трапецеидальная и др.; в зависимости от полярности электрода, который используют как индикаторный, - катодная (восстановления) или анодная (окисления). Последнюю иногда называют вольтамперометрия.В анодной полярографии в отличие от катодной используют только твердый электрод (например,графитовый).

Применяют фоноваый или индифферентный электролит (называемый просто - фон), т.е. раствор кислоты, соли, буферный раствор более сложного состава, в котором растворяют анализируемую пробу.

Анализ атмосферного с помощью газоанализаторов (определение SO2,NO,CO и других газов). Газоанолизаторы в отличие от стационарных приборов (хроматографы, полярографы и др.) не позволяют дастигнуть столь же высмокой чувствительности, точности и селективности.Однако при неопходимости оперативного контроля содержания примесей загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и особенно в воздухе рабочей зоны и в промышленных выбросах они могут быть полезны и необходимы.Характеристики наиболее применяемых и даступных отечественных газоанализаторов приведены в табл.1.

1.3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НАБЛЮДЕНИЯ И КОНТРОЛЯ

ЗА СОСТОЯНИЕМ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Для получения объективной информации о состоянии и об уровне загрязнения различных объектов окру-

жающей среды необходимо располагать надёжными средствами и методами экологического контроля. Повы-

шение эффективности контроля за состоянием природной среды может быть достигнуто повышением произво-

дительности, оперативности и регулярности измерений, увеличением масштабности охвата одновременным

контролем; автоматизацией и оптимизацией технических средств контроля и самого процесса.

Средства экологического наблюдения и контроля подразделяются на контактные, неконтактные (дистан-

ционные), биологические, а контролируемые показатели – на функциональные (продуктивность, оценка круго-

ворота веществ и др.) и структурные (абсолютные или относительные значения физических, химических или

биологических параметров – концентрация загрязняющего вещества, коэффициент суммарного загрязнения и

др.).

1.3.1. КОНТАКТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Контактные методы контроля состояния окружающей среды представлены как классическими методами

химического анализа, так и современными методами инструментального анализа. Классификация контактных

методов контроля приведена на рис. 1.8.

Наиболее применяемые спектральные, электрохимические и хроматографические методы анализа объек-

тов окружающей среды (представлены на рис. 1.9 – 1.11).

Контактные методы

анализа

Химические Физические

Физико-химические

Гравиметри- Титриметри-

ческие ческие

Магнит- Масс- Рент-

ная спек- гено-

Спек- Электро- Хромато- спек- тро- спек-

тральные химиче- графиче- тро- метрия траль-

ские ские скопия ный

анализ

Рис. 1.8. Структура контактных методов наблюдения и

контроля за состоянием окружающей среды

Спектральные

методы анализа

Атомная Молекулярная

спектроскопия спектроскопия

Жёсткие УФ-видимая Фотометрия Люминес- Методы структурного

излучения спектроско- центные анализа

пия методы

Радиоволновая ИК-

Нейтрон- Рентге- Эмисси- Атомно- УФ-видимая Флуо- спектроскопия спектро-

ноактива- носпек- онный абсорб- спектроско- ресцент- скопия

ционный траль- спек- ционный пия ный

анализ ный и тральный спек- анализ ЭПР ЯМР

рентге- анализ тральный

нофлуо- анализ

Хемилю-

ресцент-

минес- ИК- Спектры

ный

центный спектры комбина-

анализ

анализ поглоще- ционного

ния рассеива-

ния

Рис. 1.9. Спектральные методы анализа объектов окружающей среды

Электрохимические методы анализа

Методы без протекания электродной реакции Методы, основанные на протекании электродной реакции

Прямые Кондуктометри-

В отсутствии Под действием

кондуктометрические ческое

тока тока

измерения титрование

Потенцио- Электрохи- Вольтамперо- Амперомет- Кулономет-

метрические мические метрические рическое рические

методы сенсоры методы титрование методы

Электронно- Ион-

обменные селективные

электроды электроды

Рис. 1.10. Электрохимические методы анализа объектов

окружающей среды

Хроматографические методы анализа

Подвижная фаза – газ (пар) Подвижная фаза – жидкость

Газовая Газожидкостная Высокоэффективная Тонкослойная

хроматография хроматография жидкостная хроматография

хроматография

Нормально- Обращённо-

фазовая фазовая

Хроматомасс-

спектроскопия

Рис. 1.11. Хроматографические методы анализа загрязняющих веществ

Общая схема контроля включает этапы: 1) отбор пробы; 2) обработка пробы с целью консервации изме-

ряемого параметра и её транспортировка; 3) хранение и подготовка пробы к анализу; 4) измерение контроли-

руемого параметра; 5) обработка и хранение результатов.

Пробоотбор зачастую предопределяет результаты анализа, так как возможно загрязнение пробы в процессе

её отбора, особенно когда речь идёт об измерении ничтожно малых количеств загрязняющего вещества. Здесь

важен и выбор места и средства отбора, и чистота пробоотборников и тары для хранения пробы.

В изолированной от природной среды пробе, начиная с момента её взятия, осуществляются процессы «ре-

лаксации» по параметрам экосистемы, значения которых определяются кинетическими факторами. Одни из

параметров меняются быстро, другие сохраняются достаточно долго. Поэтому необходимо иметь представле-

ние о кинетике изменения измеряемого параметра в данной пробе. Очевидно, чем меньше время от момента

взятия пробы до её консервации (или анализа), тем лучше. И все же лучше в параллельно отобранные пробы

добавить эталон контролируемого загрязняющего вещества и консервировать эти контрольные пробы через

разные временные интервалы. При измерении «эталонных» образцов одновременно можно получить и градуи-

ровочные графики. Такой метод «внутреннего стандарта» желательно использовать и для оценки других факто-

ров, которые могут влиять на результаты анализа (хранение, транспортировка, методика подготовки пробы к

анализу и т.д.).

Подготовка пробы к анализу может включать в себя либо концентрирование измеряемого ингредиента,

либо его химическую модификацию с целью проявления аналитически наиболее выгодных свойств. Концен-

трирование достигается двумя путями: методом сорбции анализируемого компонента (на твёрдом сорбенте или

при экстракции растворителем), методами уменьшения объёма пробы, содержащей компонент, например путём

вымораживания, соосаждения или выпаривания. Конечно, любая такая процедура может влиять на результат

анализа, поэтому «внутренний стандарт» необходим.

Эффективность любого метода наблюдений и контроля за состоянием объектов окружающей среды оце-

нивается следующей совокупностью показателей:

• селективностью и точностью определения;

• воспроизводимостью получаемых результатов;

• чувствительностью определения;

• пределами обнаружения элемента (вещества);

• экспрессностью анализа.

Основным требованием к выбранному методу является его применимость в широком интервале концен-

траций элементов (веществ), включающих как следовые количества, в незагрязнённых объектах фоновых рай-

онов, так и высокие значения концентраций в районах технического воздействия.

1.3.2. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Контактные методы наблюдений и контроля за состоянием природной среды дополняются неконтактными

(дистанционными), основанными на использовании двух свойств зондирующих полей (электромагнитных, аку-

стических, гравитационных): осуществлять взаимодействия с контролируемым объектом и переносить полу-

ченную информацию к датчику. Зондирующие поля обладают широким набором информативных признаков и

разнообразием эффектов взаимодействия с веществом объекта контроля. Принципы функционирования средств

неконтактного контроля условно подразделяют на пассивные и активные. В первом случае осуществляется

приём зондирующего поля, исходящего от самого объекта контроля, во втором производится приём отражён-

ных, прошедших или переизлученных зондирующих полей, созданных источником.

Неконтактные методы наблюдения и контроля представлены двумя основными группами методов: аэро-

космическими и геофизическими. Основными видами аэрокосмических методов исследования являются оптиче-

ская фотосъёмка, телевизионная, инфракрасная, радиотепловая, радиолокационная, радарная и многозональная

съёмка.

Неконтактный контроль атмосферы осуществляется с помощью радиоакустических и лидарных методов.

Вначале радиоволны были использованы для анализа состояния ионосферы (по отражению и преломлению

волн), затем сантиметровые волны применили для исследования осадков, облаков, турбулентности атмосферы.

Область использования радиоакустических методов ограничена сравнительно локальными объёмами воз-

душной среды (около 1–2 км в радиусе) и допускает их функционирование в наземных условиях и на борту

воздушных судов.

Одной из причин появления отражённого акустического сигнала являются мелкомасштабные температур-

ные неоднородности, что позволяет контролировать температурные изменения, профили скорости ветра, верх-

нюю границу тумана.

Принцип лидарного (лазерного) зондирования заключается в том, что лазерный луч рассеивается молеку-

лами, частицами, неоднородностями воздуха; поглощается, изменяет свою частоту, форму импульса, в резуль-

тате чего возникает флюоресценция, которая позволяет качественно или количественно судить о таких пара-

метрах воздушной среды, как давление, плотность, температура, влажность, концентрация газов, аэрозолей,

параметры ветра. Преимущество лидарного зондирования заключается в монохроматичности, когерентности и

возможности изменять спектр, что позволяет избирательно контролировать отдельные параметры воздушной

среды. Главный недостаток – ограниченность потолка зондирования атмосферы с Земли влиянием облаков.

Основными методами неконтактного контроля природных вод являются радиояркостной, радиолокацион-

ный, флюоресцентный. Радиояркостной метод использует диапазон зондирующих волн от видимого до метро-

вого для одновременного контроля волнения, температуры и солёности. Радиолокационный (активный) метод

заключается в приёме и обработке (амплитудной, энергетической, частотной, фазовой, поляризационной, про-

странственно-временной) сигнала, отражённого от взволнованной поверхности.

Для дистанционного контроля параметров нефтяного загрязнения водной среды (площадь покрытия, тол-

щина, примерный химический состав) используется лазерный отражательный, лазерный флюоресцентный ме-

тоды и фотографирование в поляризованном свете.

Флюоресцентный метод основан на поглощении оптических волн нефтью и различии спектров свечения

легких и тяжёлых фракций нефти. Оптимальный выбор длины возбуждающей волны позволяет по амплитуде и

форме спектров флюоресценции идентифицировать типы нефтепродуктов.

Геофизические методы исследований применяются для изучения состава, строения и состояния массивов

горных пород, в пределах которых могут развиваться те или иные опасные геологические процессы. К ним от-

носятся: магниторазведка, электроразведка, терморазведка, визуальная съёмка (фото-, теле-), ядерная геофизи-

ка, сейсмические и геоакустические и другие методы.

В программу наземных инструментальных геофизических наблюдений в системе мониторинга включают-

ся:

• районы размещения дорогостоящих, ответственных и особо опасных объектов промышленного и граж-

данского строительства;

• промышленные зоны, в которых ведётся добыча полезных ископаемых, откачка (закачка) подземных

вод, рассолов (промышленных стоков), места складирования отходов и т.п.;

• территории, занятые топливно-энергетическими комплексами;

• территории с мульдами оседания земной поверхности;

• территории занятые промышленными предприятиями, на которых выполняются прецизионные работы

в различных сферах производственной деятельности;

• территории с неблагоприятной и напряжённой экологической обстановкой;

• территории расположения уникальных архитектурных сооружений и исторических памятников.

Основным видом непосредственного изучения опасных геологических процессов и явлений является ком-

плексная инженерно-геологическая съёмка (ИГС). Методика комплексной ИГС к настоящему времени доста-

точно хорошо отработана. Сейчас практически вся территория Российской Федерации покрыта государствен-

ной среднемасштабной съёмкой (1 : 200 000; 1 : 100 000 и в ряде случаев 1 : 50 000). Методы получения инже-

нерно-геологической информации в ходе съёмки хорошо разработаны и включают в себя комплекс подготови-

тельных, полевых, лабораторных исследований. В ходе ИГС полевое изучение базируется на традиционных

маршрутах геологических, топографо-геодезических и ландшафтно-индикационных исследованиях, горнопро-

ходческих и буровых разведочных работах, полевом опробовании горных пород, динамическом и статическом

зондировании и т.д. В этот комплекс работ включаются и специальные аэрокосмические, геофизические, мате-

матические, геодезические, гидрогеологические наблюдения.

С 1990-х гг. в России проводились организационные работы в области экологического мониторинга с ис-

пользованием космических средств, а также формирования инфраструктуры региональных центров сбора и

приёма космической информации. В России существует несколько космических систем дистанционного зонди-

рования территории России, применимых для наблюдений за развитием опасных природных процессов и явле-

ний. Основными и наиболее доступными для использования в ЕГСЭМ из них являются системы дистанционно-

го зондирования «Метеор», «Океан», «Ресурс-0», «Ресурс-2» и др.

Изображения со спутников передаются на Землю в реальном масштабе времени в диапазоне 1700 МГц.

Возможность свободного приёма спутниковой информации наземными станциями обеспечивается Всемирной

метеорологической организацией согласно концепции «Открытого неба».

На наземных станциях приёма спутниковой информации производится приём, демодуляция, первичная

обработка и подготовка спутниковых данных к вводу в персональный компьютер станции.

На территории России в последнее десятилетие активно развивается сеть станций приёма данных от спут-

ников NOAA (американские метеорологические спутники), образующая наземную инфраструктуру региональ-

ного экологического мониторинга: в Москве (Институт космических исследований РАН, ВНИИ ГОЧС МЧС);

Красноярске (Институт леса СО РАН); Иркутске (Институт солнечно-земной физики СОРАН); Салехарде (Гос-

комитет по охране окружающей среды Ямало-Ненецкого автономного округа); Владивостоке (Институт авто-

матики и процессов управления ДВО РАН).

Спутниковые данные дистанционного зондирования позволяют решать следующие задачи контроля со-

стояния окружающей среды:

• определение метеорологических характеристик: вертикальные профили температуры, интегральные

характеристики влажности, характер облачности;

• контроль динамики атмосферных фронтов, ураганов, получение карт крупных стихийных бедствий;

• определение температуры подстилающей поверхности, оперативный контроль и классификация за-

грязнений почвы и водной поверхности;

• обнаружение крупных или постоянных выбросов промышленных предприятий;

• контроль техногенного влияния на состояние лесопарковых зон;

• обнаружение крупных пожаров и выделение пожароопасных зон в лесах;

• выявление тепловых аномалий и тепловых выбросов крупных производств и ТЭЦ в мегаполисах;

• регистрация дымных шлейфов от труб;

• мониторинг и прогноз сезонных паводков и разливов рек;

• обнаружение и оценка масштабов зон крупных наводнений;

• контроль динамики снежных покровов и загрязнений снежного покрова в зонах влияния промышлен-

ных предприятий.

1.3.3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Совершенно очевидно, что оценка экологической обстановки на территории в ходе формирования эффек-

тивной системы государственного экологического мониторинга невозможна без использования методов биоди-

агностики качества окружающей среды.

Оценивать качество окружающей среды, степень её благоприятности для человечества необходимо, преж-

де всего, в целях:

• определения состояния природных ресурсов;

• разработки стратегии рационального использования региона;

• определения предельно допустимых нагрузок для любого региона;

• решение судьбы районов интенсивного промышленного и сельскохозяйственного использования, за-

грязненных территорий и т.д.;

• решения вопроса о строительстве, пуске или остановке определённого предприятия;

• оценки эффективности природоохранных мероприятий, введения очистных сооружений, модернизации

производства и т.д.;

• введения новых химикатов и оборудования;

• создания рекреационных и заповедных территорий.

Ни один из этих вопросов не может быть объективно решён лишь на уровне рассмотрения формальных

показателей, а требует проведения специальной разносторонней оценки качества среды обитания, т.е. необхо-

дима интегральная характеристика её состояния, биологическая оценка.

Прямые (интегральные) методы оценки экологической обстановки в свою очередь тоже можно разделить

на две группы – биоиндикации и биотестирования (последние называют также токсикологическими метода-

ми).

Объектом исследования первых являются организмы или сообщества организмов-биоиндикаторов, на-

блюдаемые в естественных условиях обитания.

Биоиндикаторами называются растительные и животные организмы, наличие, количество и состояние

которых служат показателями изменения качества среды их обитания. Глубина биоиндикации может быть

различной от простой визуальной диагностики растений до изучения иммунных и генетических изменений в

организме индикаторов.

Вторая группа методов изучает реакции тест-объектов – организмов, помещаемых в исследуемую среду.

Они подразумевают оценку токсических свойств загрязняющих веществ с использованием модельных живых

систем (тест-объектов). Оценка токсичности производится, как правило, в лабораторных условиях.

Методы биоиндикации основаны на наблюдениях отдельных организмов, популяции или сообществ орга-

низмов в естественной среде обитания с целью определения по их реакциям (изменениям) качества окружаю-

щей среды. В сельском хозяйстве широко применяется метод биоиндикации для диагностики питания сельско-

хозяйственных культур. Данный метод визуальной биоиндикации основан на изучении внешних признаков фи-

то- и биоценозов, которые отражают качественные изменения среды обитания.

В качестве признаков визуальной биоиндикации используется внешний вид растений. Таких признаков,

связанных с нарушением питания растений, множество, в частности: замедление роста стеблей; ветвей и кор-

ней; пожелтение; бурение; загибание листьев; «краевые ожоги»; образование гнили; одревеснение стеблей и др.

Для целей биоиндикации качества окружающей среды могут применяться популяционные и экосистемные

критерии, которые характеризуются показателями: численности и биомассы отдельных видов; соотношением в

сообществах различных видов, их распределение по обилию и т.п.

Для получения более достоверных, долгосрочных прогнозов наряду с видами-индикаторами отслеживают-

ся изменения, происходящие в популяциях устойчивых видов, способных выдерживать значительные возму-

щающие воздействия (воздействия экологически неблагоприятных факторов) в течение длительного времени.

Под влиянием загрязняющих веществ в организме происходят перестройка структуры и функции клеток.

Результаты гистологических исследований таких изменений могут свидетельствовать о качестве окружающей

среды. Злокачественный рост клеток, дегенеративные изменения или появление некротических очагов характе-

ризуют высокую степень токсичности среды обитания.

Патолого-анатомические и гистологические методы биоиндикации особое внимание уделяют изучению

репродуктивной системы, любые изменения которой непосредственно связаны с жизненно важными парамет-

рами популяции. Репродуктивная система очень чувствительна к стрессовым воздействиям, и любое нарушение

можно рассматривать как сигнал о наличии неблагоприятных изменений в окружающей среде.

Эмбриональные методы диагностики базируются на том обстоятельстве, что наиболее уязвимыми к воз-

действию внешних возмущений являются ранние стадии развития многоклеточных организмов. На стадиях

дробления и формирования зародышевых органов и тканей даже незначительные воздействия, как правило,

приводят к видимым уродствам более поздних стадий или даже гибели зародышей. В качестве биоиндикаторов

обычно используются быстро развивающиеся и дающие многочисленное потомство организмы (рыбы, моллю-

ски, земноводные, насекомые). Данные организмы могут быть использованы и как тест-объекты для биотести-

рования окружающей среды.

Более тонкими и точными методами биодиагностики являются иммунологические и генетические методы.

Иммунологические – основаны на измерениях показателей иммунной системы под воздействием внешних

возмущающих факторов. В результате любого рода отрицательного воздействия на иммунную систему живых

организмов в первую очередь изменяется функциональное состояние иммунокомпетентных клеток – спленоци-

тов и лимфоцитов. При введении в клетки организма специальных веществ – стандартных мутагенов (липопо-

лисахаридов и др.) – в зависимости от вида воздействия ингибирование реакции может свидетельствовать о

нарушении иммунологического статуса организма.

Генетические методы позволяют анализировать генетические изменения, возникающие вследствие небла-

гоприятных внешних воздействий. Появление таких изменений характеризует мутагенную активность среды, а

возможность их сохранения в клеточных популяциях отражает эффективность иммунной потенции организма.

В нормальных условиях большая часть генетических аномалий удаляется из популяций посредством им-

мунной системы организма. Наличие таких аномалий можно использовать в качестве индикатора стресса, ве-

дущего к продукции аномальных клеток и снижению способности иммунной системы организма их уничто-

жать.

Такое разнообразие методов биоиндикации говорит об их несовершенстве. Действительно, биоиндикация

предусматривает контроль уже состоявшегося или происходящего загрязнения компонентов окружающей сре-

ды по функциональным характеристикам их обитателей и экологическим характеристикам организмов.

Разработка единой системы показателей токсичного загрязнения окружающей среды на сегодняшний день

встречает серьезные трудности. Постепенные изменения видового состава формируются в результате длитель-

ного отравления и становятся явными в случае далеко зашедших изменений. Таким образом, видовой состав не

даёт оценки на момент исследования. В этом плане методы биоиндикации загрязнения окружающей среды

инерционны. В холодное время года системы биологической индикации малоэффективны.

Однако отличительная простота методов оценки экологической обстановки методами биоиндикации, от-

сутствие потребности в специальном инструментальном обеспечении являются их бесспорным достоинством.

Умение объединить в комплексную форму биоиндикацию, биотестирование и химико-аналитические ме-

тоды диагностики экологической обстановки позволяет минимизировать затраты на исследования. Именно

комплексное использование методов обеспечивает перспективу биоиндикации.

Методы биотестирования. Биотестирование как способ интегральной оценки токсичности загрязнений

уже достаточно давно используется в системе мониторинга качества окружающей среды за рубежом и начинает

применяться в нашей стране. Аргументами в пользу целесообразности использования подходов биотестирова-

ния качества окружающей среды являются их универсальность, экспрессность, простота, доступность и деше-

визна. Высокая чувствительность тест-организмов к действию загрязняющих веществ привела ряд специали-

стов даже к идее о возможности полной замены всех гигиенических нормативов единственным критерием ка-

чественной оценки окружающей среды на основе биотестирования. Это определило необходимость изучения

эффективности последнего. В частности, для выявления залповых сбросов загрязняющих веществ в водные

объекты и особенно в целях обнаружения резких изменений качества питьевой воды биотестирование имеет

значение как сигнальный показатель экспресс-контроля, позволяющий уже в течение одного часа получить

данные интегральной оценки токсичности воды и принять необходимые меры для защиты населения, в то вре-

мя как органолептические свойства воды могут оставаться без изменения, а на идентификацию веществ, посту-

пивших в воду, химическими методами требуется несколько часов и даже суток.

В настоящее время особое внимание уделяется приёмам токсикологического биотестирования, т.е. исполь-

зования в контролируемых условиях биологических объектов в качестве средства выявления суммарной ток-

сичности воды.

При оценке биологического действия загрязняющих веществ интактные организмы или их сообщества

специально вводятся в испытуемую среду. Таким образом, режим воздействия задаётся заранее. Для исследова-

ния общетоксикологических закономерностей применяются разнообразные методы практически из любой сфе-

ры биологии и смежных научных областей. Обобщающей основой таких исследований оказывается воздейст-

вие загрязняющих веществ, других факторов среды или их совокупности на систему биологического происхо-

ждения. Это может быть биохимическая система – выделенный элемент клеточной структуры организма; раз-

личные показатели функции и структуры организма; интегральные характеристики организма; параметры, ха-

рактеризующие состояние популяций, сообществ, организмов и экосистем.

В зависимости от поставленных задач предъявляются различные требования к методам и всей системе

биотестирования (постановка опытов и оценка результатов). В качестве объектов биотестирования применяют-

ся разнообразные организмы – бактерии, водоросли, высшие растения, пиявки, моллюски, рыбы и др. Каждый

из организмов имеет свои преимущества, но ни один организм не может служить универсальным объектом.

Растения могут оказаться наиболее чувствительными к присутствию в среде гербицидов, дафнии – к присутст-

вию инсектицидов и т.д. Кроме того, тест-реакция может выявить токсикант по его функции-мишени, напри-

мер, пропанид избирательно поражает фотосинтетический аппарат водорослей. В связи с этим для гарантиро-

ванного выявления присутствия токсического объекта неизвестного химического состава должен использовать-

ся набор различных групп, представителей водного сообщества. С введением каждого дополнительного объек-

та эффективность схемы испытаний повышается, однако нет смысла бесконечно расширять ассортимент обяза-

тельных объектов для использования в такой оценке.

Оптимальной может быть система, в которую включено три – пять видов, состояние которых оценивается

по параметрам относящихся к разным уровням интегральности (например, по одному виду водных растений,

беспозвоночных и рыб). Для контроля самого тест-объекта необходима периодическая постановка опытов с

некоторым стандартным токсикантом в одной и той же концентрации. Этот контроль позволяет оценить изме-

нение реактивности тест-объекта на стандартное токсическое воздействие. В качестве такого токсиканта часто

применяется дихромат калия (К2Сr2О7).

Важное условие правильного проведений биотестирования – использование генетически однородных ла-

бораторных культур, так как они проходят поверки чувствительности, содержатся в специальных, оговорённых

стандартами лабораторных условиях, обеспечивающих необходимую сходимость и воспроизводимость резуль-

татов исследований, а также максимальную чувствительность к токсическим веществам.

Длительность биотестирования зависит от задачи, поставленной исследователем. Существуют следую-

щие виды биотестов:

• острые биотесты (acute tests), выполняемые на различных тест-объектах по показателям выживаемо-

сти, длятся от нескольких минут до 24 – 96 ч;

• краткосрочные (short-term chronic tests) хронические тесты, длятся в течение семи суток и заканчива-

ются, как правило, после получения первого поколения тест-объектов;

• хронические тесты (chronic tests), распространяются на общую плодовитость ракообразных, охватывая

три поколения.

Генетически однородные культуры тест-объектов (водных беспозвоночных и водорослей) можно получить

в специализированных научных учреждениях, аккредитованных в системе сертификации на проведение анали-

зов с использованием необходимого тест-объекта.

В последние годы в России и ряде стран мира внедряются методы биотестирования качества поверхност-

ных вод с использованием инфузорий, дафний и других водных биоценозов. В законодательном порядке уста-

новлена необходимость биотестирования водных вытяжек опасных отходов для определения их токсичности.

В «Правилах охраны поверхностных вод» (Госкомприрода СССР, 1991 г.) биотестирование является обя-

зательным методом при анализе качества природных и сточных вод. Любая комбинация традиционных анали-

тических приборов не в состоянии предусмотреть специфический биологический эффект, выявленный в про-

цессе контроля токсичности в качестве интегрального показателя.

Основные нормативные документы по биотестированию в России:

• РД 52.18.344–93 Методика выполнения измерений интегрального уровня загрязнения почвы техноген-

ных районов методом биотестирования.

• ПНД ФТ 14.1:2:3:4.7–02,16.1:3:3:3.4–02 «Токсикологические методы контроля. Методика определения

токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадки сточных вод, отходов по смертности и изменению плодо-

витости дафний».