

Методика мониторинга загрязнений в почвах в целях кадастровой оценки земель

© 2019 г. С.А. Сладкопеевцев, А.П. Сизов, А.Ю. Анциферов*

Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, Россия

*a_antsiferov@miigaik.ru

Methods of monitoring of pollution in soils

S.A. Sladkopevtsev, A.P. Sizov, A.U. Antsiferov*

Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

*a_antsiferov@miigaik.ru

Received November 21, 2018

Revised March 1, 2019

Accepted April 4, 2019

Keywords: methods of control, pollution control, program, site selection, soil survey.

Summary. The article describes different methods of detection of contaminants in soil on the studied territories. The relevance of the work is premised on the fact that in recent years the processes of soil degradation, reduction of its fertility, increased pollution processes have been revealed. These cause problems in installing of a unified cadastral system of land assessment of the Russian Federation. Importance of the study of substances-soil pollutants and methods of soil pollution control go on a premise that the soil cover is an important component of the biosphere. It is the soil shell that determines many processes which take place in the biosphere. The most important function of soil is to accumulate the organic matter, various chemical elements, and energy. The soil cover serves as a biological absorber, destroyer and neutralizer of various types of pollution. The soil has a crucial role in the life of society, as it is a source of food, providing 95–97% of food supplies for the whole population of the world. If this part of the biosphere is destroyed, the functioning of the biosphere will be irreversibly disrupted. It is extremely important to study the global biochemical value of soil cover, its current state and changes in the cadastral evaluation of land taking into account the influence of anthropogenic activities. Effective protection of the environment from hazardous chemicals is impossible without regard to some reliable information about the degree of soil pollution.

Citation: Sladkopevtsev S.A., Sizov A.P., Antsiferov A.U. Methods of monitoring of pollution in soils. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying». 2019, 63 (2). 211–216. [In Russian]. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-2-211-216.

Поступила 21 ноября 2018 г.

После доработки 1 марта 2019 г.

Принята к печати 4 апреля 2019 г.

Ключевые слова: контроль загрязнения, место отбора, методы контроля, обследование почвы, программа.

Статья посвящена анализу различных методов исследования загрязнения почв. Раскрыты суть и преимущества методов, сделаны выводы, указывающие, в каком случае необходимо применять тот или иной метод мониторинга состава и загрязнений почв. Приведены наиболее действенные и продуктивные методы.

Для цитирования: Сладкопеевцев С.А., Сизов А.П., Анциферов А.Ю. Методика мониторинга загрязнений в почвах в целях кадастровой оценки земель // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2019. Т. 63. № 2. С. 211–216. DOI: 10.30533/0536-101X-2019-63-2-211-216.

Введение

Программа исследования почв определяется целями и задачами с учетом санитарно-эпидемического состояния района, уровня и характера техногенной нагрузки, условий землепользования. При выборе объектов в первую очередь обследуют почвы территорий повы-

шенного риска воздействия на здоровье населения (детские дошкольные, школьные и лечебные учреждения, селитебные территории, зоны санитарной охраны водоемов, питьевого водоснабжения, земли, занятые под сельскохозяйственные культуры, рекреационные зоны и т.д.). Отбор, транспортирование, хранение,

подготовка к анализу и анализ проб осуществляются в соответствии с утвержденными нормативными документами. Загрязнение почв населенных пунктов контролируется с учетом функциональных зон города. При контроле загрязнения почв промышленными источниками площадки для отбора проб берут в 3 раза больше обычной санитарно-защитной зоны вдоль векторов розы ветров на расстоянии 100, 200, 300, 500, 1000, 2000, 5000 м и более от источника загрязнения (ГОСТ 17.4.4.02–84). Для контроля санитарного состояния почв детских дошкольных, школьных и лечебно-профилактических учреждений, игровых площадок и зон отдыха отбор проб проводят не менее двух раз в год весной и осенью. Размер пробной площадки должен быть не более 5×5 м. При контроле санитарного состояния почв территорий детских учреждений и игровых площадок отбор проб проводится отдельно из песочниц и на общей территории с глубины 0–10 см. Из каждой песочницы отбирается одна объединенная проба, составленная из пяти точечных. При необходимости возможен отбор одной объединенной пробы из всех песочниц каждой возрастной группы, составленной из 8–10 точечных проб. При контроле почв в районе точечных источников загрязнения (выгреба, мусоросборники и т.п.) пробные площадки размером не более 5×5 м закладываются на разном расстоянии от источника и в относительно чистом месте (контроль). При изучении загрязнения почв транспортными магистралями пробные площадки закладываются на придорожных полосах с учетом рельефа местности, растительного покрова, метео- и гидрологических условий. Пробы почвы отбирают с узких полос длиной 200–500 м на расстоянии 0–10, 10–50, 50–100 м от полотна дороги. Одна смешанная проба составляется из 20–25 точечных, отобранных с глубины 0–10 см.

Методы контроля загрязнения почв

Сложность состава почв, почвенных расторов и вытяжек, дренажных вод не позволяет автоматически переносить на них методы,

разработанные для определения элементов в чистых растворах или в объектах, близких по свойствам к почвам (например, минералы и руды). При анализе почв особое внимание уделяют систематическим погрешностям, которые возникают из-за неоднородности состава, неадекватности [1] методик определения, влияния примесей и основы образца. Один из главных способов выявления систематических ошибок — использование стандартных образцов почв, однако набор их ограничен. Кроме того, важный этап при анализе почв — правильное проведение пробоотбора и пробоподготовки (размельчение, просеивание, квартование, разложение).

Титрование (титриметрия) — метод количественного анализа, основанный на измерении объема раствора реактива с точно известной концентрацией прореагировавшего с определенным объемом раствора анализируемого вещества. К измеренному пипеткой объему анализируемого раствора, находящегося в конической колбе, постепенно прибавляют из бюретки титрованный (т.е. с известной концентрацией) раствор реактива. Титрование заканчивают, когда анализируемое вещество полностью прореагирует с добавляемым реактивом. Конец титрования устанавливают по изменению окраски соответствующего индикатора или другими способами. По шкале бюретки определяют объем раствора реагента, израсходованного на титрование. *Достоинства:* титрование представляет собой простой, быстрый и удобный метод количественного анализа многих неорганических, органических и элементоорганических соединений. *Недостатки:* анализ занимает много времени и необходимо правильно определить растворитель, чтобы не было погрешности.

Гравиметрический анализ заключается в точном измерении массы осадка, выпадающего в результате реакции между анализируемым компонентом пробы и реагентом. Основные этапы анализа: осаждение (введение реагента, выпадение осадка); фильтрование через бумажный фильтр; промывание осадка; высу-

шивание и прокаливание осадка; взвешивание осадка. Точность результатов анализа зависит от правильного выбора осадителя (реагента) и тщательности выполнения отдельных операций анализа. В качестве осадителя выбирается такой реагент, который наиболее полно и избирательно взаимодействует с анализируемым веществом. При этом образующийся осадок должен легко отфильтровываться и отмываться от примесей, быть устойчивым при прокаливании (не разлагаться и не поглощать газы из воздуха). Чем меньше растворимость образующегося в результате реакции вещества, тем больше точность анализа. *Достоинства*: наиболее точный из химических методов анализа. *Недостатки*: длительность проведения анализа.

Фотометрический метод анализа (фотометрия) — совокупность методов абсорбционного спектрального анализа, основанных на избирательном поглощении электромагнитного излучения в видимой, ИК- и УФ-областях молекулами определяемого компонента или его соединения с подходящим реагентом. Концентрацию определяемого компонента устанавливают по закону Бугера–Ламберта–Бера. Фотометрический метод включает в себя визуальную фотометрию, спектрофотометрию и фотоколориметрию. Последняя отличается от спектрофотометрии тем, что поглощение света измеряют главным образом в видимой области спектра, реже — в ближних УФ- и ИК-областях (т.е. в интервале длин волн от ~315 до ~980 нм), а также тем, что для выделения нужного участка спектра (шириной 10–100 нм) используют не монохроматоры, а узкополосные светофильтры: абсорбционный — поглощение раствором световой энергии; флуориметрический — излучение раствором световой энергии, вызванной световой энергией возбуждения; турбидиметрический — сочетание поглощения и рассеяния световой энергии дисперсной средой. Для фотометрических измерений используют две большие группы приборов: фотоколориметры и спектрофотометры.

Спектрофотометр СФ-46. Назначение и технические данные. Однолучевой спектрофо-

тометр СФ-46 11 со встроенной микропроцессорной системой предназначен для измерения пропускания, оптической плотности жидких и твердых веществ в области 190–1100 нм.

Колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-2. Назначение и технические данные. Однолучевой фотоколориметр КФК-2 14 предназначен для измерения пропускания, оптической плотности и концентрации окрашенных растворов, рассеивающих взвесей, эмульсий и коллоидных растворов в области спектра 315–980 нм. Весь спектральный диапазон разбит на спектральные интервалы, выделяемые с помощью светофильтров. *Достоинства*: простота и низкая стоимость аппаратуры. *Недостатки*: сложность подготовки проб к анализу и низкая селективность метода.

Кондуктометрический анализ основан на изменении концентрации вещества или химического состава среды в межэлектродном пространстве. Он не связан с потенциалом электрода, который обычно близок к равновесному значению. Кондуктометрия включает в себя прямые методы анализа (используемые, например, в солемерах) и косвенные (например, в газовом анализе) с применением постоянного или переменного тока (низкой и высокой частоты), а также хронокондуктометрию, низко- и высокочастотное титрование. *Достоинства*: высокая чувствительность (нижняя граница определяемых концентраций ~10⁻⁴–10⁻⁵М), достаточно высокая точность (относительная погрешность определения — 0,1–2%), простота методик, доступность аппаратуры, возможность исследования окрашенных и мутных растворов. простота эксперимента, высокая чувствительность (до ~10⁻⁴ моль/л), сравнительно малая погрешность определения (0,1–2%).

Недостатки: электропроводность — величина аддитивная и дает информацию об общей концентрации ионов в растворе, малая селективность метода.

Метод ионометрии — вариант потенциометрического анализа, в котором непо-

средственно измеряется активность иона в растворе. Измерения проводят при помощи пары электродов, погружаемых в анализируемый раствор. Один из электродов — измерительный, другой — электрод сравнения. Конструкция измерительного электрода позволяет определять величину активности только тех ионов, для которых он предназначен, поэтому эти электроды еще называют ионоселективными. Это — удобный, простой и экспрессный современный метод: продолжительность анализа определяется временем подготовки пробы, поскольку на само измерение тратится не более 1–2 мин. От других физико-химических методов ионометрия отличается прежде всего простотой методик и невысокой стоимостью измерительных приборов. Современные портативные ионометры позволяют определять разнообразные ионы и растворенные газы не только в лаборатории, но и в полевых условиях. *Достоинства*: уменьшение погрешности определения в 2–3 раза за счет увеличения числа измерений в одной пробе. *Недостатки*: чрезмерно большие или малые добавки снижают точность определения.

Полярография — метод качественного и количественного химического анализа, основанный на получении кривых зависимости величины тока от напряжения в цепи, состоящей из исследуемого раствора и погруженных в него электродов, один из которых — сильно поляризующийся, а другой — практически неполяризующийся. Получение таких кривых — полярограмм — проводят при помощи полярографов. При определении восстанавливаемых веществ поляризующийся электрод соединяют с отрицательным полюсом внешнего источника тока, при определении окисляющихся веществ — с положительным полюсом. *Достоинства*: поверхность капли непрерывно обновляется, отсюда — высокая воспроизводимость результатов. *Недостатки*: ртуть ядовита, ее нельзя использовать в области положительных потенциалов

Биотестирование. Суть этого метода заключается в определении действия токси-

кантов на специально выбранные организмы в стандартных условиях с регистрацией различных поведенческих, физиологических или биохимических показателей. Применение биотестирования почвы имеет ряд преимуществ перед физико-химическим анализом, с помощью которого часто не удается обнаружить неустойчивые соединения или количественно определить ультрамалые концентрации экотоксикантов. Довольно часто бывают случаи, когда выполненный современными средствами химический анализ не показывает наличия токсикантов, тогда как использование биологических тест-объектов свидетельствует об их присутствии в исследуемой среде. Биотестирование дает возможность быстро получить интегральную оценку токсичности, что делает весьма привлекательным его применение при скрининговых исследованиях. *Достоинства*: быстрота проведения, доступность и простота проведения экспериментов. *Недостатки*: невозможность выявления в воде веществ, характеризующихся канцерогенным действием.

Дистанционные методы исследования загрязнения почв. Основной метод, применяемый при мониторинге химического загрязнения земель, — повторное картографирование, однако в последнее время получает распространение и дистанционное зондирование. Дистанционное зондирование — это сбор информации об объекте или явлении с помощью регистрирующего прибора, не находящегося в непосредственном контакте с данным объектом. Применение аэрокосмических методов в почвоведении дало ощутимый толчок развитию почвенного картографирования и мониторинга почвенного покрова.

Самая важная часть дистанционного зондирования — анализ изображений. Исследователь анализирует аэрофотоснимок с помощью ГИС, чтобы непосредственно извлечь из него полезную информацию. В настоящее время большую часть данных ДЗЗ получают с искусственных спутников Земли. Данные ДЗЗ — это аэрокосмические снимки, которые

представляются в цифровой форме в виде растровых изображений, поэтому проблематика обработки и интерпретации данных ДЗЗ тесно связана с цифровой обработкой изображений. Дистанционное зондирование — перспективный метод формирования баз данных, пространственное, спектральное и временное разрешение которых будет достаточным для решения задач рационального использования природных ресурсов. Дистанционное зондирование — эффективный метод инвентаризации природных ресурсов и мониторинга их состояния, в частности почв.

Современный метод применения дистанционных методов в исследованиях загрязнения почв и земель — *гиперспектральная съемка*. Ученые уже давно изобрели способ, как создавать изображения, которые состоят не из трех, а из множества каналов. Изображение в этом методе одно- или многоканальное. Многоканальное изображение в этом методе воспроизведено с помощью цветовой модели RGB, при этом неважно, состоит изображение из 1 или 1000 отдельных каналов. Он прежде всего используется в аэрофотосъемке и космической съемке земной поверхности. Гиперспектральные снимки внешне незначительно отличаются от обычных снимков, но если рассматривать обычный снимок, то любой пиксель с него можно разбить на компоненты. Каждый пиксель это — n -мерная модель, где n — число спектральных каналов.

Существуют съемочные системы с различным числом спектральных каналов. При этом можно настроить прибор так, чтобы эти компоненты плотно укладывались не только в видимый спектр (от красного до фиолетового), но и захватывали инфракрасную область, которую человеческий глаз не способен воспринять. Гиперспектральная съемка может быть выполнена как сканерными, так и кадровыми системами. При использовании сканерной системы после одного прохода получается некий ряд из пикселей, причем каждый из пикселей разбит на свой спектр. В итоге у нас получается картинка, которую мы можем запомнить,



Гиперспектральный снимок
Hyperspectral image

перенести на карту памяти и перейти к следующему ряду. И так ряд за рядом мы можем составить гиперспектральное изображение.

Заключение

Изучив методы мониторинга загрязнения в почвах, можно сделать вывод, что наиболее действенный, точный и продуктивный метод — биотестирование. Этот метод не только дает возможность определять уровень интегральной токсичности почвы, но и позволяет следить за динамикой ее самоочищения, а также восстановления с применением рекультивационных мероприятий, например, при внесении бакпрепаратов. Использование в комплексе биотестов представителя гидробионтов позволяет контролировать загрязнение сопредельной водной среды (реки, озера, грунтовые воды и т.д.). Биотестирование на микроорганизмах и высших растениях дает возможность оценить уровень токсичности почвы для организмов-педобионтов. При помощи биотестирования на простейших можно оценивать иммунно-физиологическое состояние различных водных организмов в водоемах разного трофического статуса (т.е. количество биомассы водоемов), загрязнение водоемов от различных хозяйственных стоков, а также вли-

ание антропогенных факторов [1–4]. Кроме того, биотестирование используется как метод оценки токсичности водной среды при:

1) токсикологической оценке промышленных, сточных бытовых, сельскохозяйственных, дренажных, загрязненных природных и проточных вод с целью выявления потенциальных источников загрязнения;

2) контроле аварийных сбросов высокотоксичных сточных вод;

3) оценке степени токсичности сточных вод на разных стадиях формирования при проектировании локальных очистных сооружений;

4) контроле токсичности сточных вод, подаваемых на очистные сооружения биологического типа с целью предупреждения проникновения опасных веществ для биоценозов активного ила;

5) определении уровня безопасного разбавления сточных вод для гидробионтов с целью учета результатов биотестирования при корректировке и установлении предельно допустимых сбросов веществ, поступающих в водоемы со сточными водами;

6) проведении экологической экспертизы новых материалов, технологий очистки, проектов очистных сооружений.

Именно биотестирование в последнее время становится все актуальнее.

Благодарности. Выражаем благодарность профессору В.А. Малинникову за внимание к работе и рекомендации по улучшению ее содержания.

Acknowledgements. We express our gratitude to Professor V.A. Malinnikov for his attention to this work and recommendations on improving its content.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якунина И. В., Попов Н.С. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009. 188 с.

2. Пашкевич М.А., Шуйский В.Ф. Экологический мониторинг. СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2002. 89 с.

3. Маячкина Н.В., Чугунова М.В. Особенности биотестирования почв с целью их экотоксикологической оценки. СПб.: Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, 2009. 93 с.

4. Булгаков Н.Г. Контроль природной среды как совокупность методов биоиндикации, экологической диагностики и нормирования // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2003. № 4. С. 33–70.

REFERENCES

1. Yakunina I.V., Popov N.S. *Metody i pribory kontrolya okruzhayushchey sredy. Ekologicheskij monitoring*. Methods and devices of environmental control. Environmental monitoring. Tambov: Publishing TSTU, 2009: 188 p. [In Russian].

2. Pashkevich M.A., Shumsky V.F. *Ekologicheskij monitoring*. Environmental monitoring. St. Petersburg: St. Petersburg state mining Institute (technical University), 2002: 89 p. [In Russian].

3. Machkine N.In., Chugunova M.V. *Osobennosti biotestirovaniya pochv s tsel'yu ikh ekotoksikologicheskoy otsenki*. Features of biotesting of soils with a view to their ecotoxicological assessments. St. Petersburg: Saint-Petersburg scientific research center for ecological safety RAS, 2009: 93 p. [In Russian].

4. Bulgakov N.D. Control of the natural environment as a set of methods of bioindication, environmental diagnosis and regulation. *Problemy okruzhayushchej sredy i prirodnih resursov*. Environmental problems and problems in the field of natural resources. 2003. 4: 33–70. [In Russian].