УДК 543 (075.8)

ОБЗОРНАЯ МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

Абузярова Г.А.

ФГОУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга», Петропавловск-Камчатский, e-mail: kamgu.ru

Обоснована актуальность экологического мониторинга и использования в экологических исследованиях химических методов. Представлена методология аналитической химии в экологическом мониторинге биосферы, основанная на традиционных методах (качественный и количественный химический анализ). Отмечены преимущества объемного анализа по сравнению с весовым и его классификация по типу химической реакции, лежащей в основе метода. Описаны основные физико-химические методы контроля загрязняющих веществ: спектральные, электрохимические и хроматографические. Дана общая классификация каждой группы методов и сравнительная характеристика по длительности определения и количеству определяемого загрязнителя. Показаны преимущества тест-методов, осуществляемых в полевых условиях с использованием портативной аппаратуры и хемосенсоров. Представлена общая характеристика биохимических, основанных на применении биосенсоров, и биологических методов (генетический мониторинг) на основе иммуносенсоров и обоснована их высокая селективность. Таким образом, обширная методология современной аналитической химии позволяет оперативно и достоверно осуществлять экологический мониторинг окружающей среды.

Ключевые слова: аналитическая химия, тест-методы, мониторинг, методология, загрязнители (экотоксиканты, ксенобиотики), хемосенсоры, биосенсоры

REVIEW OF METHODOLOGY OF ANALIYTICAL CHEMISTRY IN ENVIRONMENTAL MONITORING

Abuzyarova G.A.

Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: kamgu.ru

The urgency of the environmental monitoring and the use of ecological studies of chemical methods is motivated. The methodology of analytical chemistry in environmental monitoring of the biosphere, based on traditional methods (qualitative and quantitative chemical analysis) is presented. The advantages of volumetric analysis in comparison with gravimetric analysis and its classification by the type of chemical reaction of the underlying technique are noted. The basic physical and chemical methods to control pollutants (spectral, electrochemical and chromatographic) are described. A general classification of each group of methods and comparative characteristics determine the duration and the amount of polluter is given. The advantages of the test methods carried out in the field using portable equipment and chemosensors are explained. A general characteristic of biochemical, based on the application of biosensors, and biological methods (genetic monitoring), based on immunosensors, is presented, and their high selectivity is substantiated. Thus, an extensive methodology of modern analytical chemistry allows quickly and reliably implement environmental monitoring.

Keywords: Analytic chemistru, test-methods, monitoring, methodology, pollutants (ecotocsicants, xenobiotics), chemosensors, biosensors

В системе современного экологического мониторинга (ЭМ) основным направлением является изучение тех воздействий, которые оказывают вещества антропогенного происхождения (загрязнители) на живые организмы и, соответственно, на биосферу в целом. Так как данные воздействия и ответные реакции биологических систем происходят на молекулярном (химическом) уровне, то и методы, позволяющие достоверно отслеживать информацию об этих процессах, должны быть химическими и биохимическими.

Таким образом, анализ состава загрязнителей и их негативного воздействия на биоту невозможен без методов аналитической химии, которая располагает обширным спектром средств и способов идентификации химических элементов и их соединений.

Методология

Химические методы

Методы качественного химического анализа позволяют определить, какое вещество находится в исследуемой пробе по специфическим аналитическим реакциям и специальным методикам. Существуют «сухие» методы качественного анализа и «мокрые», происходящие в растворе [2, 3, 8, 9].

Сущность традиционных *количественных методов химического* анализа, например гравиметрии (весового анализа), состоит в определении массы или содержания (концентрации) какого-либо элемента, либо иона, либо химического соединения, находящегося в исследуемом образце.

Широко используется в количественном анализе *титриметрический*

(*объемный) метод. В* этом виде анализа взвешивание заменяется измерением объемов растворов, как определяемого вещества, так и реагента, используемого при данном определении, что приводит к заметному сокращению продолжительности определений в титриметрии. По типу химической реакции, лежащей в основе, методы титрования делят на 4 группы: кислотно-основные, методы осаждения, окисления-восстановления и комплексообразования. Титриметрия успешно сочетается с различными физико-химическими методами по техническому способу проведения анализа и индикации точки эквивалентности (например, потенциометрия) [2, 3, 7, 8, 9, 10].

Физико-химические методы

Наряду с классическими химическими методами в ЭМ широко используются специфические «гибридные» методы, сочетающие в едином процессе количественное определение с одновременной идентификацией. Возникновение таких методов было стимулировано необходимостью получения информации о химическом составе (обычно на уровне микропримесей) для решения химико-экологических задач [4, 8].

Важнейшими такими *физико-химическими методами* количественного анализа являются *спектроскопические,* основанные на взаимодействии вещества с электромагнитным излучением. Среди них основными являются атомная спектроскопия (атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная), спектроскопия ядерно-магнитного резонанса, масс-спектрометрия и методы анализа, основанные на явлении радиоактивности (активационный анализ, радиохимические и радиоспектроскопические) [2, 8, 10].

Успешно используются электрохимические методы: потенциометрия, кондуктометрия, вольтамперометрия? полярография, кулонометрия, электрогравиметрия.

Весомое значение имеют хроматографические и родственные им методы: газовая и жидкостная хроматография, сверхкритическая флюидная хроматография и электрофорез, сочетание хроматографии и спектроскопии [2, 3, 8, 10].

Помимо доступности и чувствительности (минимального количества) определения, важнейшей характеристикой современных аналитических методов является продолжительность анализа. Поэтому особенно популярными стали *экспресс-методы. К* ним относят инструментальные (физико-химические) методы, позволяющие определить загрязнения за короткий период времени [2, 8].

Необходимо подчеркнуть, что современный уровень приборостроения позволяет проводить аналитические определения не только в лаборатории, но и непосредственно на объекте исследования, т.е. в полевых условиях с использованием портативного оборудования. Эти «полевые» методы широко применяются для определения радиационного фона и непрерывного экспресс-контроля за химическими загрязнителями на природных объектах и на производстве [2, 6, 8].

Экспресс-методы

Современные экспресс-методы по сути являются сенсорными. В общем случае конструкция сенсора включает собственно чувствительный элемент и преобразователь, позволяющие отслеживать многие параметры окружающей среды в реальном времени.

Химический сенсор (хемосенсор) – это устройство, избирательно реагирующее на конкретный химический объект путем химической реакции и которое можно использовать для качественного и количественного определения загрязнителя. В хемосенсоре есть индикационный блок, где происходит собственно химическая реакция, и преобразователь. Результатом химической реакции является сигнал – изменение цвета, флуоресценция, изменение поверхностного электрического потенциала, появление потока электронов, выделение тепла и др. признаки. Преобразователь откликается на этот сигнал и преобразует величину сигнала в данные о количестве загрязняющей примеси [5, 8].

По типу преобразователя все химические сенсоры можно разделить на следующие группы: *электрохимические*, *оптические, гравиметрические (масс-чувствительные)*, *тепло-чувствительные* [2, 5, 8].

Таким образом, использование хемосенсоров, благодаря малой продолжительности ответной реакции, позволяет широко применять экспресс-методы для проведения экологических исследований.

Биохимические и биологические методы

Биоиндикация – комплекс специфических реакций живого организма (или какого-либо биологического элемента – группы клеток, ткани органа) на воздействие определенного вещества, причем эти реакции можно регистрировать и по ним давать оценку присутствия загрязнителя и его концентрации.

Для индикации различных поллютантов в окружающей среде можно использовать специальные тест-организмы: тест-животных и тест-растения.

Одной из самых распространенных систем контроля над загрязнителями, где используются живые организмы является метод определения биохимической потребности кислорода (БПК), в котором фиксируется метаболическая активность микроорганизмов. Именно для быстрого определения БПК были разработаны одни из первых биосенсоров [2, 3, 4, 8].

Биосенсор – это анализирующее устройство, главной частью которого может служить, например, чувствительный электрод, содержащий между полупроницаемыми перегородками-мембранами ферменты или микроорганизмы. Такая «живая прослойка» узнает только «комплементарный» ей химический агент, то есть является индикационным блоком аналогично устройству хемосенсора, а электрод преобразует эту реакцию-ответ в электрический сигнал, который преобразуется и фиксируется.

В качестве мембран для сенсоров используются материалы, которые специфически взаимодействуют с определяемым веществом. Мембранные сенсоры могут содержать между мембранами чувствительные молекулы (ткани, клетки микроорганизмов, органеллы, клеточные рецепторы, биологически активные вещества, ферменты, иммобилизованные антигены, хромофоры и т.п.) [1, 2, 8].

В некоторых случаях био- и хемосенсоры можно рассматривать как единое эффективное анализирующее устройство для регистрации изменений, которые происходят с объектами биоиндикации под воздействием поллютантов.

На данном этапе биологического контроля живых организмов особенно важным становится генетический мониторинг. Значение генетического контроля факторов окружающей среды и человека тем более велико, что генные мутации являются одним из показателей опасных последствий повышения концентрации биологически активных веществ в биосфере [1].

В настоящее время в генетическом мониторинге наиболее интенсивно развиваются ДНК-технологии, направленные на разработку методов изучения и целенаправленного изменения ДНК. Все эти сложные процессы можно осуществлять методом полимеразной цепной реакции (ПЦР), который широко используется в современной мировой практике для обнаружения генетически модифицированной ДНК (анализ на генетически модифицированные источники ГМИ). В генетическом мониторинге широко применяются визуальные методы посредством оптической техники (например, микроскопия), ряд современных физико-химических (инструментальных) методов, а также биохимические методы [1, 2, 8].

Основным достоинством биохимических методов является высокая селективность, обусловленная специфичностью ферментативных и иммунных процессов, благодаря использованию биосенсоров и иммуносенсоров по принципу «антиген-антитело». Электрохимические сенсоры являются наиболее широко представленным классом иммуносенсоров [2, 8].

Вывод

Таким образом, используя весь богатейший арсенал методов аналитической химии, система экологического мониторинга позволяет непрерывно получать информацию для принятия экологически значимых решений.

В последние годы все более популярными становятся полевые методы, сочетающие простоту определения тест-методов и минимальное время анализа экспресс-методов.

Наиболее достоверные данные в режиме реального времени получают, как правило, при сочетании или при сопоставлении результатов, полученных разными методами.

Список литературы

1. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг: учеб. пособие для студ. высш. проф. образования / С.А. Гераськин, Е.И. Сарапульцева, Л.В. Цаценко / под ред. Гераськина С.А., Сарапульцевой Е.И. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 208 с.

2. Другов Ю.С, Муравьев А.Г., Родин А.А. Экспресс-анализ экологических проб: практическое руководство. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 424 с

3. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологическая аналитическая химия: уч. пособие для вузов. – СПб.: Анатолия, 2002. – С. 464.

4. Исидоров В.А. Экологическая химия: учебник для вузов. – СПб.: Химиздат, 2001. – С. 6.

5. Каттралл Р. Химические сенсоры / пер. с англ. – М.: Научный мир, 2000. – 144 с.

6. Леенсон И.А. Химия в технологиях индустриального общества: учебное пособие. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. – 280 с.

7. Основы аналитической химии: практическое руководство / под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высшая школа, 2001. – 463 с.

8. Отто М. Современные методы аналитической химии. – 3-е изд. – М.: Техносфера, 2008. – 544 с.

9. Практикум по общей химии. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов: учеб. пособие для вузов / А.В. Бабков, В.А. Попков, С.А. Пузаков / под ред. В.А. Попкова, А.В. Бабкова. – М.: Высш. шк., 2006. – 239 с.

10. Цитович И.К. Курс аналитической химии: учебник. – СПб.: Изд-во «Лань», 2004. – 496 с.

References

1. Biologicheskij kontrol' okruzhajushhej sredy: geneticheskij monitoring: ucheb. posobie dlja stud. vyssh. prof. obrazovanija / S.A. Geras'kin, E.I. Sarapul'ceva, L.V. Cacenko / pod red. Geras'kina S.A., Sarapul'cevoj E.I. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2010, 208 p. [S.A. Geras'kin, E.I. Sarapul'ceva, L.V. Cacenko. Biological control of environment: genetic monitoring] Moscow, 2010. 208 p.

2. Drugov Ju.S, Murav'ev A.G., Rodin A.A. Jekspress-analiz jekologicheskih prob: prakticheskoe rukovodstvo. M.: BINOM. Laboratorija znanij, 2010. 424 p. [Drugov Ju.S, Murav'ev A.G., Rodin A.A. Express-analysis of ecological samples] Moscow, 2010. 424 p.

3. Drugov Ju.S., Rodin A.A. Jekologicheskaja analiticheskaja himija: Uch. posobie dlja vuzov. SPb.: Anatolija, 2002, pp. 464. [Drugov Ju.S., Rodin A.A. Ecological analytic chemistry] St-Petersburg, 2002. 464 p.

4. Isidorov V.A. Jekologicheskaja himija: Uchebnik dlja vuzov.SPb: Himizdat, 2001. S.6. [Isidorov V.A. Ecological chemistry] St-Petersburg, 2001. pp. 6.

5. Kattrall R. Himicheskie sensory / per. s angl. M.: Nauchnyj mir, 2000. 144 p. [Kattrall R. Chemical sensors] Moscow, 2000. 144 p.

6. Leenson I.A. Himija v tehnologijah industrial'nogo obshhestva: Uchebnoe posobie Dolgoprudnyj: Izdatel'skij Dom «Intellekt», 2011. 280 p. [Leenson I.A. Chemistry and technology of industrial society] Dolgoprudnyj, 2011. 280 p.

7. Osnovy analiticheskoj himii: prakticheskoe rukovodstvo / pod red. Ju.A. Zolotova. M.: Vysshaja shkola, 2001. 463 p. [U. Zolotov Principles of analytic chemistry] Moscow, 2000. 144 p

8. Otto M. Sovremennye metody analiticheskoj himii. 3-e izdanie. M.: Tehnosfera, 2008. 544 p. [Otto M. Moderm methods of analytic chemistry] Moscow, 2008. 544 p.

9. Praktikum po obshhej himii. Biofizicheskaja himija. Himija biogennyh jelementov: Ucheb. posobie dlja vuzov / A.V. Babkov, V.A. Popkov, S.A. Puzakov / pod red. V.A. Popkova, A.V. Babkova. M.: Vyssh. shk., 2006. 239 p. [A.V. Babkov, V.A. Popkov, S.A. Puzakov Practical studies of general chemistry. Biophysical chemistry. Chemistry of biogenic elements] Moscow, 2008. 544 p.

10. Citovich I.K. Kurs analiticheskoj himii: Uchebnik. SPb.: Izdatel'stvo «Lan'», 2004. 496 s. [Citovich I.K. Course of analytic chemistry] St-Petersburg, 2004. 496 p.

Рецензенты:

Потапов В.В., д.т.н., профессор, заведующий лабораторией химии кремнезема в гидротермальных современных процессах НИГТЦ ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

Кузякина Т.И., д.б.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеохимии и экологии НИГТЦ ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский.

Работа поступила в редакцию 21.03.2014.