

А.З. ВАРТАНОВ
А.Д. РУБАН
В.Л. ШКУРАТНИК

**МЕТОДЫ
И ПРИБОРЫ
КОНТРОЛЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ
СРЕДЫ
И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
МОНИТОРИНГ**

*Под редакцией
чл.-корр. РАН А.Д. Рубана*

*Рекомендовано Учебно-методическим
объединением вузов Российской Федерации
по образованию в области горного дела
в качестве учебника для студентов вузов,
обучающихся по специальностям «Физические
процессы горного или нефтегазового производства»
направления подготовки «Горное дело»
и «Инженерная защита окружающей среды»
направления подготовки «Защита
окружающей среды»*

МОСКВА
•
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
•
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА
•
2009



Измерения Контроль Диагностика

ВВЕДЕНИЕ

Первое документально подтвержденное предупреждение о грядущих негативных последствиях воздействия человека на природу прозвучало на рубеже XVIII–IXX веков и принадлежало выдающемуся французскому естествоиспытателю, основоположнику теории эволюции Ж. Ламарку. Неудивительно, что для сообщества того времени оно осталось практически незамеченным, поскольку в течение всего предшествующего исторического периода культивировалось потребительское отношение к природе и царила убежденность в неиссякаемости ее ресурсов. Конечно, это не означает, что до наступления эры научно-технической революции природоохранная деятельность совсем не велась, однако она не носила системного, осознанного и всеобъемлющего характера, а решала конкретные, частные, сиюминутные задачи жизнеобеспечения определенного региона или определенной группы людей. Только совсем недавно (конечно в масштабах истории развития человечества), в связи с резким возрастанием антропогенного влияния на биосферу, ответная реакция последней все чаще стала приобретать формы экологического бедствия. Как следствие пришло понимание того, что во взаимоотношениях с природой человечеству изменило «чувство меры» и от многовековой практики покорения природы необходимо безотлагательно переходить к диалогу с ней. Указанный диалог предполагает, в частности, принятие и реализацию обществом таких управленческих решений, которые позволили бы сочетать ресурсное обеспечение устойчивого развития с поддержанием равновесного состояния окружающей среды.

Первичным звеном процесса управления экологической ситуацией является получение измерительной информации о неблагоприятных изменениях состояния экосистем, а также о качественных и количественных характеристиках источников

их загрязнения. Заключительное звено этого процесса также связано с получением соответствующей информации, позволяющей оценить результативность и эффективность принятых мер обеспечения экологической безопасности и при необходимости скорректировать эти меры.

С учетом сказанного становится понятной та ведущая роль, которую играет информационное обеспечение при решении экологических проблем. При этом экомониторинг (в своем пассивном варианте) должен рассматриваться как необходимая организационно-техническая система такого обеспечения, реализуемая с использованием широкого спектра специализированных методов и приборов контроля за состоянием окружающей среды.

Экологический контроль и мониторинг в настоящее время стали неотъемлемой составляющей производственно-хозяйственной деятельности общества. Без них трудно представить себе реализацию любого проекта во всех сферах экономики – будь то энергетика, промышленное производство, строительство, транспорт, сельское хозяйство и, конечно же, добыча и переработка полезных ископаемых, поскольку последние занимают доминирующее положение среди отраслей-загрязнителей. Отсюда важность владения каждым обладателем инженерного диплома основополагающими знаниями в области измерений, контроля и мониторинга параметров, характеризующих экологическое состояние окружающей среды, а значит, и включения соответствующих вопросов в учебные планы подготовки специалистов.

Структурно учебник состоит из десяти глав, девять из которых посвящены изучению непосредственно методов и средств экологического контроля, а одна глава (первая) знакомит читателя с объектами охраны окружающей среды и основными ее загрязнителями, а также с методами организации и проведения экологического мониторинга.

Все представленные методы и средства классифицированы по степени универсальности и средам (объектам) мониторинга. В самостоятельные группы выделены методы и средства контроля специфических загрязнений и физических воздействий на природную среду – акустических и вибрационных, термических, электростатических, электромагнитных и радиационных. Отдельно рассмотрены дистанционные методы экологического контроля и мониторинга.

Вторая глава посвящена универсальным методам и средствам контроля состава атмосферы, почвы и водной среды. Рассматриваются известные аналитические методы: хроматография (газовая, жидкостная, адсорбционная и абсорбционная); спектрометрия (атомная и молекулярная); оптические, электрохимические и гибридные методы. Особое внимание уделено физическим законам и механизмам, лежащим в основе этих методов.

В главах с третьей по пятую рассмотрены специализированные методы и средства контроля физико-химического состава и свойств трех основных сред – атмосферы, гидросферы и почвенного покрова.

Контролю акустических и вибрационных загрязнений посвящена шестая глава. Здесь рассматриваются источники вибрационных и шумовых полей, вопросы аппаратурного и методического обеспечения измерения их основных временных и спектральных характеристик.

Методы и средства контроля термического, электростатического и электромагнитного загрязнения окружающей среды рассмотрены соответственно в седьмой и восьмой главах.

Девятая глава посвящена радиационному загрязнению окружающей среды. В ней отражены вопросы радиологической безопасности и дозиметрии ионизирующих излучений, описаны основные типы детекторов, в том числе трековые, сцинтилляционные и полупроводниковые, а также газоразрядные счетчики ионизирующих излучений.

В десятой главе представлена краткая характеристика дистанционных методов экологического контроля.

Такое построение учебника при последовательном прочтении всего материала позволяет получить системное представление об экологическом мониторинге, методах и средствах его реализации, что важно для студентов. В то же время, каждая из глав, взятая в отдельности, дает характеристику конкретной группе методов и средств, что может быть полезно читателю, заинтересованному в отдельных соответствующих аспектах экологического контроля.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ОСОБЕННОСТИ ЕГО ОРГАНИЗАЦИИ	9
1.1. Объекты охраны и основные загрязнители окружающей среды	9
1.1.1. Строение, свойства и основные загрязнители атмосферы	9
1.1.2. Гидросфера и основные её загрязнители	14
1.1.3. Почвенный покров и его загрязнения	17
1.1.4. Радиоактивное загрязнение биосферы и основные его источники	28
1.1.5. Шум, вибрация и электромагнитные воздействия	30
1.1.6. Загрязнение окружающей природной среды особо опасными веществами	31
1.2. Сущность цели и задачи экологического контроля и мониторинга	33
1.2.1. Классификация видов и уровней экологического мониторинга	36
1.2.2. Особенности глобального, национального, регионального, локального, точечного и фоновый мониторинга	38
1.2.2.1. Глобальный мониторинг	38
1.2.2.2. Национальный мониторинг	41
1.2.2.3. Региональный мониторинг	48
1.2.2.4. Локальный мониторинг	49
1.2.2.5. Точечный мониторинг	52
1.2.2.6. Фоновый мониторинг	53
1.3. Организация экологического мониторинга	55
1.3.1. Нормативное обеспечение экологического мониторинга	58
1.3.2. Комплексный инженерно-экологический мониторинг	60
1.3.3. Характеристика технических средств получения и обработки информации в составе комплексного мониторинга	62
1.3.4. Требования к средствам обработки информации	63
2. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ, ПОЧВЫ И ВОДНОЙ СРЕДЫ	70
2.1. Хроматографические методы	70
2.1.1. Классификация хроматографических методов	70
2.1.2. Методы и средства газовой хроматографии	72
2.1.2.1. Физические основы газохроматографического разделения смесей	74

2.1.2.2.	Основы конструкции и функционирования газовых хроматографов	76
2.1.2.3.	Газохроматографические детекторы	78
2.1.2.4.	Приборы для газовой хроматографии	92
2.1.3.	Методы и средства высокоэффективной жидкостной хроматографии	93
2.1.3.1.	Основные понятия и классификация методов жидкостной хроматографии	93
2.1.3.2.	Основные параметры хроматографического разделения	96
2.1.3.3.	Аппаратура для жидкостной хроматографии	98
2.2.	Спектрометрия	100
2.2.1.	Атомная спектрометрия	100
2.2.1.1.	Атомно-эмиссионная спектрометрия	102
2.2.1.2.	Атомно-абсорбционная спектрометрия	105
2.2.2.	Молекулярная спектрометрия	111
2.2.2.1.	Эмиссионная молекулярная спектрометрия	112
2.2.2.2.	Абсорбционная спектрометрия	114
2.2.2.3.	Фурье-спектрометрия	126
2.2.3.	Масс-спектрометрия	131
2.3.	Гибридные методы	133
2.4.	Оптические методы	136
2.4.1.	Фотометрический метод	136
2.4.2.	Поляриметрический метод	139
2.4.3.	Рефрактометрический метод	140
2.4.4.	Турбидиметрический и нефелометрический методы	142
2.5.	Оптико-акустический метод	147
2.6.	Электрохимические методы	149
2.6.1.	Кондуктометрический метод	150
2.6.2.	Потенциометрический метод	151
2.6.3.	Вольтамперометрический метод	157
2.6.4.	Кулонометрический метод	163
2.6.5.	Амперометрический метод	167
2.7.	Современные методы пробоподготовки	169
2.7.1.	Твердофазная экстракция	169
2.7.2.	Твердофазная микроэкстракция	171
2.7.3.	Жидкостно-жидкостная экстракция	172
2.7.4.	Сверхкритическая флюидная экстракция	173
2.7.5.	Экстракция водой в субкритическом состоянии	174
3.	СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ	175

3.1.	Общие принципы построения систем и приборов газоаналитического контроля.....	175
3.1.1.	Обобщенная схема автоматической системы газоаналитического контроля	177
3.1.2.	Специализированные технические характеристики современных газоаналитических приборов	185
3.2.	Отбор проб воздуха	188
3.2.1.	Абсорбция в жидкие среды	190
3.2.2.	Адсорбция на твердых сорбентах	192
3.2.3.	Хемосорбция	197
3.2.4.	Криогенное концентрирование.....	198
3.2.5.	Отбор проб в сосуды ограниченной вместимости.....	199
3.2.6.	Отбор проб на фильтры.....	199
3.2.7.	Аппаратура для отбора проб воздуха.....	200
3.3.	Основные приборы для анализа загрязнений атмосферы	207
3.3.1.	Измерение концентрации вредных веществ в воздухе индикаторными трубками	208
3.3.2.	Электрохимические газоанализаторы.....	216
3.3.3.	УФ-фотометрические анализаторы озона.....	236
3.3.4.	Абсорбционные анализаторы оксида углерода	238
3.3.5.	Пламенно-ионизационные анализаторы углеводородов.....	241
3.3.6.	Пламенно-фотометрические анализаторы диоксида серы	244
3.3.7.	Флуоресцентные анализаторы диоксида серы	246
3.3.8.	Контроль оксидов азота с использованием хемилюминесцентного метода анализа	248
3.3.9.	Термокондуктометрические и термокаталитические измерители концентрации метана.....	253
3.3.10.	Термомагнитные измерители концентрации кислорода	260
3.4.	Методы и технические средства контроля запыленности атмосферы	264
3.4.1.	Методы, основанные на предварительном осаждении пыли ...	265
3.4.2.	Методы без предварительного осаждения пыли.....	268
3.5.	Система непрерывного мониторинга дымовых газов.....	277
3.5.1.	Особенности аппаратной реализации систем контроля дымовых газов.....	278
3.5.2.	Методы и приборы контроля дымовых газов.....	285
3.5.3.	Автоматизированные системы контроля дымовых газов.....	288
3.6.	Методы и средства расходометрических измерений при контроле загрязненности атмосферы	290
3.7.	Методы и средства метеорологического контроля.....	302
3.7.1.	Методы и средства контроля температуры.....	303

3.7.2.	Методы и средства контроля влажности воздуха	303
3.7.3.	Методы и средства контроля направления и скорости ветра.....	305
3.8.	Автоматизированные системы контроля состояния атмосферы.....	306
4 .	МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ И СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД.....	312
4.1.	Комплексная оценка качества водной среды на основе санитарно-химического, гидробиологического и гидрохимического анализов.....	313
4.2.	Санитарно-химический анализ водной среды.....	320
4.3.	Гидробиологический анализ водной среды	323
4.3.1.	Методы бактериологического анализа воды	325
4.3.2.	Определение общего количества бактерий	326
4.3.3.	Определение колиформных бактерий и синегнойной палочки.....	327
4.4.	Гидрохимические инструментальные методы контроля состояния водной среды.....	330
4.4.1.	Метод и приборы для определения рН воды.....	330
4.4.2.	Метод и приборы для определения окислительно-восстановительного потенциала воды	337
4.4.3.	Приборы с ионселективными электродами в практике гидрохимического анализа вод.....	339
4.4.4.	Методы и приборы для определения солесодержания воды	345
4.4.5.	Определение концентрации металлов в воде вольтамперометрическим методом.....	354
4.4.6.	Методы и приборы для определения количества растворенного в воде кислорода	361
4.4.7.	Автоматическое определение концентрации гидразина в воде.....	365
4.4.8.	Методы и приборы для определения концентрации соединений железа в воде	367
4.4.9.	Методы и приборы для определения концентрации кремнекислых соединений в воде	370
4.4.10.	Методы и приборы для определения концентрации органических соединений в воде	372
4.5.	Оптические средства контроля мутности воды.....	379
4.6.	Средства контроля термического загрязнения водной среды	381
4.7.	Автоматизированные системы контроля экологического состояния водной среды.....	382
5 .	МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ	386

5.1.	Контролируемые показатели и методы почвенно-химического мониторинга	386
5.2.	Методы и средства определения кислотно-основных свойств почвы	390
5.3.	Методы и средства контроля вторичного засоления и осолонцевания почв	392
5.4.	Методы и средства контроля фитотоксичности почв.....	395
5.5.	Методы контроля содержания гумуса в почве.....	398
5.6.	Методы контроля загрязнения почв нефтепродуктами	400
5.7.	Методы и средства контроля загрязнения почв тяжелыми металлами	402
6 .	МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИОННЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	408
6.1.	Образование и характеристики вибрационного и шумового полей	409
6.2.	Нормирование вибрации и шума	424
6.3.	Методы и средства измерения вибраций и шумов	435
6.3.1.	Виброизмерительная аппаратура.....	435
6.3.1.1.	Приборы для измерения виброперемещений	435
6.3.1.2.	Приборы для измерения виброскорости	442
6.3.1.3.	Приборы для измерения виброускорения	445
6.3.1.4.	Приборы для измерения нескольких параметров периодических вибраций.....	450
6.3.2.	Аппаратура для измерения шума	457
6.3.3.	Спектральный анализ акустических шумов и вибрации	466
7 .	МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	472
7.1.	Температурная шкала и методы измерения температуры	472
7.2.	Принцип действия и принципиальная схема термоэлектрического термометра	476
7.3.	Принцип действия и принципиальная схема термометров сопротивления	482
7.4.	Пирометрические методы и средства контроля температуры	486
8.	МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	490
8.1.	Методы и средства контроля параметров электростатических полей	491
8.2.	Методы и средства контроля параметров электромагнитных полей	494

9.	РАДИАЦИОННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАДИОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ	504
9.1.	Основные понятия радиологической безопасности и дозиметрии ионизирующих излучений	504
9.2.	Источники радиоактивных излучений и их характеристики	512
9.3.	Механизм воздействия ионизирующих излучений на живые орга- низмы	520
9.4.	Правила и нормы радиационной безопасности	522
9.5.	Методы и средства для измерения радиационной опасности	526
9.5.1.	Детекторы ионизирующих излучений	526
9.5.1.1.	Трековые детекторы ионизирующих излучений	528
9.5.1.2.	Газоразрядные счетчики ионизирующих излучений	532
9.5.1.3.	Сцинтилляционные детекторы	542
9.5.1.4.	Полупроводниковые детекторы	546
9.5.2.	Приборы для измерения радиационной опасности	550
9.5.3.	Особенности радиометрии воздуха	556
9.5.4.	Методы и приборы контроля радиологической опасности, свя- занной с содержанием радона и торона в воздухе	562
10.	ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЭКОДИАГНОСТИКИ	582
10.1.	Физические основы дистанционных методов контроля	583
10.2.	Дистанционные методы контроля свойств и состояния атмосферы	590
10.3.	Дистанционные методы контроля состояния водной среды	599
10.4.	Дистанционные методы контроля состояния земной поверхности	608
10.5.	Контроль состояния окружающей среды тепловой аэро съемкой	613
10.5.1.	Основные закономерности формирования температурного поля земной поверхности и поля ИК-излучения	614
10.5.2.	Технические средства тепловой аэро съемки	616
10.5.3.	Основные области применения тепловой аэро съемки	621
10.6.	Системы спутникового сканирования	623
	Список литературы	626
	Указатель	628