

М Е Т О Д Ы В Х И М И И

Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков

РАДИОАКТИВНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

3-е издание, электронное

Рекомендовано
Межведомственным научным советом
по радиохимии при Президиуме РАН
и Федеральном агентстве РФ по атомной энергии
в качестве учебного и учебно-методического пособия для
студентов вузов, обучающихся по специальности 02.00.14 —
«Радиохимия», а также аспирантов и слушателей курсов
повышения квалификации



Москва
Лаборатория знаний
2020

УДК 543.53
ББК 22.383я73
С19

Серия основана в 2003 г.

Сапожников Ю. А.

С19 Радиоактивность окружающей среды : теория и практика / Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков. — 3-е изд., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2020. — 289 с. — (Методы в химии). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-00101-928-2

Учебное пособие, написанное преподавателями кафедры радиохимии химического факультета МГУ, посвящено одной из актуальных проблем охраны окружающей среды. Рассматривается поступление естественных и техногенных радионуклидов в окружающую среду, особое внимание уделяется поведению радионуклидов в атмосфере и гидросфере. Обсуждаются проблемы определения радионуклидов в окружающей среде, в том числе пробоотбор, подготовка пробы, методы разделения и концентрирования и выбор метода измерения радиоактивности и идентификации радионуклидов. В качестве примеров описывается анализ различных объектов.

Для студентов радиохимических специальностей, слушателей курсов повышения квалификации, а также экологов, геохимиков и других специалистов, связанных с природоохранной деятельностью.

УДК 543.53
ББК 22.383я73

Деривативное издание на основе печатного аналога: Радиоактивность окружающей среды : теория и практика / Ю. А. Сапожников, Р. А. Алиев, С. Н. Калмыков. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. — 286 с. : ил. — (Методы в химии). — ISBN 5-94774-376-0.

В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации

ISBN 978-5-00101-928-2

© Лаборатория знаний, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Принятые обозначения и сокращения	5
1. Введение	7
2. Поступление радионуклидов в окружающую среду	10
2.1. Естественная радиоактивность	10
2.2. Искусственные радионуклиды в окружающей среде	14
2.2.1. Ядерное оружие	15
2.2.2. Ядерные взрывы, проводимые в мирных целях	19
2.2.3. Сброс радиоактивных отходов в моря и реки	21
2.2.4. Аварийные ситуации на морских и воздушных судах	27
2.2.5. Искусственные спутники Земли	28
2.2.6. Ядерный топливный цикл	29
2.2.7. Аварии на предприятиях ядерного топливного цикла	30
2.2.8. Боеприпасы с обедненным ураном	33
Литература	37
3. Радионуклиды в атмосфере	38
3.1. Радон и продукты его распада	38
3.2. Космическое излучение и космогенные радионуклиды	42
3.2.1. Углерод-14	43
3.2.2. Бериллий-7 и бериллий-10	46
3.3. Искусственные радионуклиды в атмосфере	47
Литература	48
4. Радионуклиды в гидросфере	49
4.1. Естественная радиоактивность гидросферы	49
4.2. Искусственная радиоактивность гидросферы	61
4.2.1. Актиниды в гидросфере	69
Литература	75
5. Радионуклиды в литосфере	77
5.1. Миграция искусственных радионуклидов в почве и перенос почва — растение	78

5.2. Роль гуминовых и фульвокислот в миграции радионуклидов	83
5.2.1. Строение и свойства гуминовых кислот и фульвокислот	83
5.2.2. Комплексообразование радионуклидов с гуминовыми кислотами	87
Литература	90
6. Природная и техногенная радиоактивность в городской среде	92
6.1. Особенности городского ландшафта	92
6.2. Природные радионуклиды в городской среде	93
6.3. Техногенные радионуклиды в городской среде	97
6.4. Радионуклиды в помещениях	103
Литература	106
7. Применение радионуклидов в качестве трассеров при исследовании окружающей среды	107
7.1. Природные радионуклиды	109
7.1.1. Торий-234	109
7.1.2. Свинец-210 и полоний-210	111
7.1.3. Бериллий-7	116
7.1.4. Фосфор-32 и фосфор-33	118
7.1.5. Кремний-32	121
7.2. Искусственные радионуклиды	122
7.3. Идентификация источников поступления искусственных радионуклидов	129
Литература	135
8. Определение радионуклидов в окружающей среде. Общие проблемы	137
8.1. Постановка задачи	138
8.2. Выбор метода определения радионуклида	139
8.3. Применение носителей	139
8.4. Определение химического выхода	140
Литература	142
9. Отбор проб объектов окружающей среды	143
9.1. Общие принципы пробоотбора	143
9.2. Планирование пробоотбора	143
9.3. Компоненты атмосферы	144
9.4. Атмосферные выпадения	145
9.5. Природная вода	146

9.6. Взвешенное и коллоидное вещество	147
9.7. Донные отложения	149
9.8. Льды	150
9.9. Почва	150
9.10. Биота	152
Литература	152
10. Методы разделения и концентрирования	154
10.1. Экстракция	154
10.1.1. Экстракция несольватированных нейтральных соединений	156
10.1.2. Экстракция внутрикомплексных соединений	156
10.1.3. Экстракция донорными экстрагентами	157
10.1.4. Экстракция аминами	158
10.2. Экстракционная хроматография	160
10.3. Осаждение и соосаждение	163
Литература	165
11. Измерение радиоактивности и идентификация радионуклидов	166
11.1. Основные понятия и определения	166
11.1.1. Эффективность регистрации излучений	166
11.1.2. Фон и холостой опыт	167
11.1.3. Идентификация радионуклидов	168
11.1.4. Временные характеристики детекторов	168
11.1.5. Постановка задачи	170
11.2. Ионизационные детекторы	170
11.3. Гамма-спектрометрия	176
11.3.1. Испускание и поглощение гамма-квантов ядрами.	176
11.3.2. Взаимодействие гамма-квантов с веществом	177
11.3.3. Детектирование гамма-квантов	179
11.3.4. Определение радиоактивности	181
11.3.4.1. Калибровка	183
11.3.4.2. Набор спектра препарата, определение площади пика	185
11.3.4.3. Идентификация пиков	185
11.3.4.4. Учет фона	185
11.3.4.5. Количественное определение радионуклидов	187
11.3.4.6. Учет каскадных гамма-квантов	188
11.3.5. Применение метода	190
11.3.6. Проблемы метода	190

11.4. Альфа-спектрометрия с применением полупроводниковых детекторов	192
11.4.1. Взаимодействие альфа-частиц с веществом	192
11.4.2. Калибровка α -спектрометра по энергии и эффективности	194
11.4.3. Условия измерения	196
11.4.4. Обработка α -спектров	198
11.5. Жидкостно-сцинтилляционная спектрометрия	199
11.5.1. Введение	199
11.5.2. Процесс регистрации излучения. Передача энергии в жидкостно-сцинтилляционных системах	200
11.5.3. Процессы гашения в ЖС системах	203
11.5.4. Определение абсолютной активности. Параметры гашения	206
11.5.5. Трассирование эффективности	209
11.5.6. Установки для жидкостно-сцинтилляционных измерений	212
11.5.7. Анализ сложных смесей радионуклидов ЖС методом	215
11.5.8. Измерение черенковского излучения	216
11.5.9. Практическая работа с аппаратурой для ЖС измерений	218
11.6. Измерение низких активностей	219
11.6.1. Критический уровень I_C	221
11.6.2. Минимальная детектируемая скорость счета I_D	222
11.6.3. Расчет критического уровня и минимального детектируемого количества импульсов	222
11.6.4. Методы снижения фона	224
11.7. Другие методы определения радионуклидов	229
11.7.1. Масс-спектрометрия	229
11.7.2. Активационный анализ	231
Литература	233
12. Методы определения физико-химических форм радионуклидов	236
12.1. Изучение связывания с частицами разного размера	236
12.2. Фракционирование радионуклидов по различным геохимическим фракциям почв и донных осадков	240
12.3. Определение химической формы радионуклидов	242
12.3.1. Косвенные способы определения валентных форм радионуклидов	242
12.3.2. Прямые методы определения валентных форм радионуклидов	244

12.4. Рентгеновские методы изучения форм радионуклидов	244
Литература	248
13. Анализ объектов окружающей среды	251
13.1. Углерод-14.	251
13.2. Бериллий-7	252
13.3. Фосфор-32 и фосфор-33	253
13.4. Радий	254
13.4.1. Радий-226.	254
13.4.2. Радий-228.	255
13.5. Радон и короткоживущие продукты его распада	256
13.6. Свинец-210 и продукты его распада.	257
13.7. Торий-234	258
13.8. Цезий-137 и цезий-134	262
13.9. Стронций-90	264
13.10. Радиоактивные изотопы иода.	264
13.10.1. Иод-131	264
13.10.2. Иод-129	265
13.11. Трансурановые элементы.	267
13.11.1. Плутоний	267
13.11.2. Нептуний	269
13.11.3. Америций	269
13.12. Определение радиоактивности в питьевой воде	270
Литература	272
Заключение	275
Рекомендуемая литература	277
Приложение. Наиболее интенсивные γ-линии радионуклидов естественных рядов урана—радия и тория	278
Указатель радионуклидов.	280