

БАКАЛАВР. АКАДЕМИЧЕСКИЙ КУРС

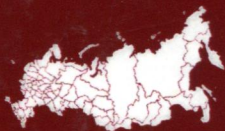
И. Н. Бекман

# РАДИОХИМИЯ

Том 2

ПРИКЛАДНАЯ РАДИОХИМИЯ  
И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



СООТВЕТСТВУЕТ  
ПРОГРАММАМ  
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ШКОЛ

**Юрайт**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

УМО ВО рекомендует

И. Н. Бекман

# РАДИОХИМИЯ

ТОМ 2

## ПРИКЛАДНАЯ РАДИОХИМИЯ И РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ  
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом  
высшего образования в качестве учебника  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по естественно–научным направлениям  
и специальностям*

Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

Москва ■ Юрайт ■ 2016

УДК 544.58(075.8)

ББК 24.13я73

Б42

**Автор:**

**Бекман Игорь Николаевич** — профессор, доктор химических наук, профессор кафедры радиохимии химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, заслуженный профессор МГУ.

**Рецензенты:**

*Афанасов М. И.* — доктор химических наук, профессор кафедры радиохимии химического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова;

*Сергиевский Б. В.* — доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой общей химии факультета технической физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», заслуженный деятель науки РФ.

**Бекман, И. Н.**

Б42 Радиохимия. В 2 т. Том 2. Прикладная радиохимия и радиационная безопасность : учебник и практикум для академического бакалавриата / И. Н. Бекман. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 386 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

ISBN 978-5-9916-7344-0 (т. 2)

ISBN 978-5-9916-7346-4

Учебник содержит систематический материал по физическим основам радиохимии, дозиметрии и технике безопасности, ядерно-физическим, химическим и радиотоксическим свойствам радиоактивных элементов, фундаментальной радиохимии, включая химию ядерных превращений и радиационную химию, промышленной радиохимии (производство радионуклидов для ядерных зарядов и для топлива атомных реакторов), прикладной радиохимии (включая методы использования меченых атомов), экологической (состояние и миграция радионуклидов в природных средах) и медицинской радиохимии (синтез меченых соединений медицинского назначения и создание радиофармпрепаратов для диагностики и терапии).

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

*Для студентов и аспирантов химических факультетов университетов, химико-технологических и технических вузов, специализирующихся в области радиохимии и ядерной химии, для аспирантов и преподавателей смежных специальностей, а также для специалистов и исследователей, работающих с радиоактивными веществами, изотопами, ионизирующими излучениями в технических областях, медицине и в области охраны окружающей среды.*

УДК 544.58(075.8)

ББК 24.13я73



*Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».*

ISBN 978-5-9916-7344-0 (т. 2)

ISBN 978-5-9916-7346-4

© Бекман И. Н., 2013

© ООО «Издательство Юрайт», 2016

## Оглавление

Предисловие к тому 2 .....	5
Принятые сокращения .....	7
<b>Глава 4. Промышленная радиохимия .....</b>	<b>9</b>
4.1. Промышленная радиохимия в ядерной индустрии .....	10
4.2. Ядерные реакторы .....	11
4.3. Ядерные топливные циклы .....	27
4.4. Горнорудная промышленность урана .....	34
4.5. Переработка урановой руды .....	43
4.6. Изотопное обогащение урана .....	55
4.7. Металлургия урана .....	59
4.8. Топливо для ядерных реакторов .....	63
4.9. Реакторная стадия ядерного топливного цикла .....	72
4.10. Обращение с отработавшим топливом .....	74
4.11. Радиохимическая переработка ОЯТ .....	80
4.12. Управление радиоактивными отходами .....	106
4.13. Трансмутация радионуклидов .....	118
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	124
<b>Глава 5. Прикладная радиохимия .....</b>	<b>126</b>
5.1. Производство радиоактивных изотопов .....	126
5.2. Радиохронология .....	133
5.3. Активационный анализ .....	143
5.4. Метод радиоактивных индикаторов в химии .....	151
5.4.1. Меченые соединения: синтез и свойства .....	153
5.4.2. Радиоактивные изотопы в аналитической химии .....	160
5.4.3. Метод радиоактивных индикаторов в физической химии ...	164
5.4.4. Метод радиоактивных индикаторов в материаловедении...	167
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	175
<i>Задачи</i> .....	176
<b>Глава 6. Экологическая радиохимия .....</b>	<b>180</b>
6.1. Радиоэкологический риск .....	180
6.2. Природная радиоактивность .....	183
6.3. Радон в среде обитания .....	196
6.4. Экологический риск предприятий ядерной индустрии .....	219
6.4.1. Очистка сбросов предприятий ядерного топливного цикла .....	219
6.4.2. Техногенные радионуклиды в природных средах .....	229
6.4.3. Аварии на предприятиях ядерного топливного цикла ...	233
6.4.4. Ядерные аварии с серьезными экологическими последствиями .....	242
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	248

<b>Глава 7. Медицинская радиохимия</b> .....	<b>250</b>
7.1. Радионуклидная диагностика .....	252
7.1.1. Сцинтиграфия .....	254
7.1.2. Радиоиммунный анализ .....	269
7.1.3. Однофотонная эмиссионная компьютерная томография... ..	271
7.1.4. Позитронная эмиссионная томография .....	279
7.2. Радионуклидная терапия .....	290
7.3. Радиоиммунная терапия .....	304
7.4. Производство радионуклидов для ядерной медицины .....	313
7.5. Радиофармпрепараты для ядерной медицины .....	323
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	333
<b>Глава 8. Радиационная безопасность</b> .....	<b>335</b>
8.1. Радиационная доза .....	335
8.2. Методы дозиметрического контроля .....	352
8.3. Биологическое действие излучений .....	354
8.4. Техника безопасности .....	364
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	378
<i>Задачи</i> .....	380
<b>Предметный указатель</b> .....	<b>382</b>
<b>Рекомендуемая литература</b> .....	<b>386</b>