

УДК 504.06+574+663.1

ББК 30.16:20.1я73

П75

Серия основана в 2009 г.

Авторский коллектив:

А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С. В. Пушников, М. Энгельхарт,
Т. Вайссер, М. В. Чеботаева

Прикладная экобиотехнология : учебное пособие : в 2 т.
П75 Т. 1 / А.Е.Кузнецов [и др.]. -2-е изд.-М. : БИНОМ. Лабо-
ратория знаний, 2012,—629 с. : ил., [4] с. цв. вкл. —(Учебник
для высшей школы).

ISBN 978-5-9963-0778-4 (Т. 1)

ISBN 978-5-9963-0777-7

В учебном пособии, написанном опытными преподавателями, известными учеными и технологами из России и Германии, систематизирован и обобщен материал по биологическим, инженерным, эколого-экономическим основам, практическим методам и способам реализации современной биотехнологии для решения задач охраны окружающей среды. В томе 1 рассмотрены методы биологической очистки загрязненных вод, дезодорации газовоздушных выбросов, переработки органических отходов (в том числе полимерных материалов) и ремедиации почв.

Для студентов, преподавателей вузов, аспирантов, научных работников, инженеров-технологов и других специалистов по биотехнологии, решающих задачи охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

УДК 504.06+574+663.1

ББК 30.16:20.1я73

По вопросам приобретения обращаться:

«БИНОМ. Лаборатория знаний»

Телефон: (499)157-5272

e-mail: binom@Lbz.ru, <http://www.Lbz.ru>

ISBN 978-5-9963-0778-4 (Т. 1)

ISBN 978-5-9963-0777-7

© БИНОМ. Лаборатория знаний,
2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Предисловие | 3 |
| Введение | 5 |
| Глава 1. Биологическая очистка сточных вод | 13 |
| 1.1. Сточные воды как объекты очистки..... | 13 |
| 1.1.1. Цель и нормативы очистки сточных вод..... | 13 |
| 1.1.2. Основные показатели загрязненности сточных вод..... | 15 |
| 1.1.3. Особенности сточных вод различного происхождения..... | 29 |
| 1.2. Общие принципы очистки сточных вод..... | 34 |
| 1.3. Биологические методы очистки сточных вод..... | 48 |
| 1.3.1. Классификация методов биологической очистки..... | 48 |
| 1.3.2. Показатели работы очистных сооружений и их сравнение..... | 52 |
| 1.4. Аэробная биологическая очистка..... | 56 |
| 1.4.1. Биоценозы сооружений аэробной очистки..... | 56 |
| 1.4.1.1. Активный ил..... | 57 |
| 1.4.1.2. Биопленки и биообрастания..... | 63 |
| 1.4.1.3. Показатели состояния активного ила и биопленок..... | 69 |
| 1.4.2. Основные биохимические процессы при аэробной очистке..... | 73 |
| 1.4.3. Очистка на полях фильтрации и орошения..... | 76 |
| 1.4.4. Очистка с активным илом..... | 79 |
| 1.4.4.1. Очистка в аэротенках..... | 79 |
| 1.4.4.2. Очистка в модифицированных сооружениях..... | 104 |
| 1.4.5. Очистка с биопленкой..... | 115 |
| 1.4.5.1. Очистка на биофильтрах..... | 115 |
| 1.4.5.2. Очистка в погружных и комбинированных сооружениях..... | 123 |
| 1.4.6. Пути совершенствования систем аэробной очистки .. | 137 |
| 1.5. Анаэробная биологическая очистка..... | 149 |

| | |
|--|-----|
| 1.5.1. Биоценозы и биохимические процессы при анаэробной очистке..... | 149 |
| 1.5.2. Очистка в сооружениях традиционной конструкции..... | 173 |
| 1.5.3. Анаэробные реакторы нового поколения..... | 173 |
| 1.6. Технологические схемы многостадийной биологической очистки сточных вод..... | 193 |
| 1.7. Удаление биогенных элементов из сточных вод..... | 204 |
| 1.7.1. Биологическое удаление азота..... | 206 |
| 1.7.1.1. Влияние условий очистки на удаление азота..... | 206 |
| 1.7.1.2. Методы и технологии удаления азота..... | 216 |
| 1.7.2. Биологическое удаление фосфора..... | 231 |
| 1.7.3. Биологическое удаление серы..... | 237 |
| 1.8. Обезвоживание осадков очистных сооружений..... | 239 |
| 1.9. Малые установки для локальных очистных сооружений..... | 258 |

| | |
|---|------------|
| Глава 2. Биологическая очистка и дезодорация газовой воздушных выбросов..... | 281 |
|---|------------|

| | |
|---|------------|
| Глава 3. Переработка органических отходов..... | 294 |
|---|------------|

| | |
|---|-----|
| 3.1. Общая характеристика отходов..... | 294 |
| 3.2. Микробиологическая переработка органических отходов..... | 318 |
| 3.2.1. Обогащение микробным кормовым белком..... | 318 |
| 3.2.1.1. Технологические особенности микробиологической конверсии в кормовой белок..... | 324 |
| 3.2.1.2. Выделение и концентрирование биомассы и белковых веществ..... | 342 |
| 3.2.1.3. Техничко-химический контроль и обеспечение качества продукции..... | 347 |
| 3.2.1.4. Принципы организации малоотходного производства..... | 350 |
| 3.2.1.5. Особенности переработки в кормовые продукты некоторых отходов..... | 353 |
| 3.2.2. Силосование..... | 368 |
| 3.2.3. Компостирование..... | 375 |
| 3.2.4. Аэробная стабилизация..... | 387 |
| 3.2.5. Анаэробное сбраживание и метаногенерация..... | 388 |
| 3.2.6. Биоконверсия в тепловую энергию и топливо..... | 393 |
| 3.2.7. Биоудобрения и биоинтенсивное земледелие..... | 411 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.8. Биодеструкция растительных полимеров и материалов..... | 424 |
| 3.2.9. Биодegradация синтетических полимерных материалов и использование биодegradируемых пластиков..... | 430 |
| 3.2.10. Складирование и захоронение твердых отходов..... | 444 |
| 3.3. Вермикультивирование и вермикомпостирование..... | 451 |
| 3.3.1. Особенности дождевых червей как биологических объектов культивирования..... | 452 |
| 3.3.2. Свойства продуктов и применение вермикультивирования и вермикомпостирования . . . | 456 |
| 3.3.3. Технологические основы вермикультивирования и вермикомпостирования..... | 463 |

Глава 4. Биоремедиация почв..... 472

| | |
|--|-----|
| 4.1. Основные факторы, влияющие на выбор способов ремедиации почв..... | 472 |
| 4.2. Классификация методов и технологий ремедиации..... | 481 |
| 4.3. Небиологические методы и технологии ремедиации..... | 483 |
| 4.3.1. Методы <i>ex situ</i> и <i>on site</i> | 483 |
| 4.3.1.1. Извлечение и захоронение..... | 483 |
| 4.3.1.2. Фиксирование и стабилизация..... | 484 |
| 4.3.1.3. Фракционирование..... | 486 |
| 4.3.1.4. Извлечение загрязнений..... | 487 |
| 4.3.1.5. Термообработка..... | 491 |
| 4.3.1.6. Деструктивная очистка..... | 493 |
| 4.3.2. Методы <i>in situ</i> | 499 |
| 4.3.2.1. Локализация загрязнения..... | 500 |
| 4.3.2.2. Промывка и отдувка..... | 511 |
| 4.3.2.3. Термообработка..... | 517 |
| 4.3.2.4. Барьеры..... | 521 |
| 4.3.2.5. Деструктивная очистка..... | 527 |
| 4.3.2.6. Электрокинетическая обработка..... | 528 |
| 4.4. Биологические и комбинированные методы..... | 529 |
| 4.4.1. Самоочищение (природное истощение)..... | 530 |
| 4.4.2. Биостимулирование <i>in situ</i> | 532 |
| 4.4.3. Биоаугментация..... | 545 |
| 4.4.4. Биоконцентрирование и локализация..... | 548 |
| 4.4.5. Биомобилизация и биовыщелачивание..... | 551 |
| 4.4.6. Реакционно-активные биобарьеры..... | 552 |
| 4.4.7. Обработка в штабелях, буртах, насыпях, компостированием..... | 554 |

| | |
|---|------------|
| 4.4.8. Обработка в биореакторах..... | 557 |
| 4.4.9. Комбинированные и гибридные процессы..... | 560 |
| 4.5. Специализированные биопрепараты..... | 562 |
| 4.5.1. Биопрепараты и их получение..... | 562 |
| 4.5.2. Биопрепараты для ликвидации загрязнений..... | 567 |
| 4.5.3. Биопрепараты для рекультивации территорий и восстановления плодородия почв..... | 587 |
| 4.6. Сравнение методов ремедиации..... | 597 |
| 4.7. Практические работы и затраты при проведении биоремедиации..... | 604 |
| 4.7.1. Основные этапы биоремедиационных работ..... | 605 |
| 4.7.2. Мониторинг..... | 613 |
| 4.7.3. Затраты на ремедиационные мероприятия..... | 616 |
| Сокращения..... | 621 |

УДК 504.06+574+663.1
ББК 30.16:20.1я73
П75

Серия о с и о в а н а в 2009 г.

Авторский коллектив:

А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С. В. Лушников, М. Энгельхарт,
Т. Вайссер, М. В. Чебогаева

Прикладная экобиотехнология : учебное пособие : в 2 т.
П75 Т. 2 / А.Е.Кузнецов [и др.].-2-е изд.-М. : БИНОМ. Лабо-
ратория знаний, 2012,—485 с. : ил., [4] с. цв. вкл. —(Учебник
для высшей школы).

ISBN 978-5-9963-0779-1 (Т. 2)

ISBN 978-5-9963-0777-7

В учебном пособии, написанном опытными преподавателями, известными учеными и технологами из России и Германии, систематизирован и обобщен материал по биологическим, инженерным, жолого-экономическим основам, практическим методам и способам реализации современной биотехнологии для решения задач охраны окружающей среды. В томе 2 рассмотрены методы очистки водоемов и водохранилищ с применением растений и водорослей, удаления нефтезагрязнений и тяжелых металлов. биомониторинг и биоиндикация, а также 'жолого-экономическис и нормативно-законодательные основы природоохранной деятельности.

Для студентов, преподавателей вузов, аспирантов, научных работников, инженеров-технологов и других специалистов по биотехнологии, решающих задачи охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

УДК 504.06+574+663.1
ББК 30.16:20.1я73

По вопросам приобретения обращаться:

«БИНОМ. Лаборатория знаний»

Телефон: (499) 157-5272

e-mail: binonKffiLbz.ru, <http://www.Lbz.ru>

ISBN 978-5-9963-0779-1 (Т. 2)
ISBN 978-5-9963-0777-7

© БИНОМ. Лаборатория знаний.
2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| Глава 5. Использование растений и водорослей для очистки загрязненных вод и почв | 3 |
| 5.1. Особенности накопления и трансформации загрязнений растениями и водорослями | 3 |
| 5.2. Методы очистки и обезвреживания загрязненных сред с использованием водорослей и растений | 11 |
| 5.3. Биопруды и гидрботанические площадки | 14 |
| 5.3.1. Биопруды | 14 |
| 5.3.2. Гидрботанические площадки | 18 |
| 5.3.3. Водоросли и растения-макрофиты биопрудов и гидрботанических площадок | 23 |
| 5.4. Фиторемедиация | 28 |
| 5.4.1. Фитоэкстракция | 28 |
| 5.4.2. Фитотрансформация, фитодеградация, фитоиспарение | 35 |
| 5.4.3. Ризосферная биоремедиация | 39 |
| 5.4.4. Фитостабилизация | 42 |
| 5.4.5. Фитозаградительные барьеры | 43 |
| 5.4.6. Изолирующий растительный покров | 45 |
| 5.4.7. Ризофилтрация | 46 |
| 5.4.8. Поля орошения | 48 |
| 5.4.9. Выбор и пути совершенствования фитометодов очистки природных сред | 52 |
| 5.4.10. Содержание практических работ при проведении фиторемедиации | 58 |
| 5.4.11. Затраты на фиторемедиацию | 58 |
| Глава 6. Восстановление озерных экосистем | 60 |
| 6.1. Антропогенное нарушение озерных экосистем | 60 |
| 6.2. Методы восстановления экосистем озер и водохранилищ | 66 |
| 6.2.1. Предотвращение эвтрофикации | 68 |
| 6.2.2. Борьба с заилением и зарастанием макрофитами и водорослями | 72 |
| 6.2.3. Борьба с загрязнением органическими ксенобиотиками и тяжелыми металлами | 78 |
| 6.2.4. Восстановление закисленных озер | 80 |
| 6.2.5. Устранение теплового загрязнения | 81 |
| 6.2.6. Восстановление обмелевших и ранее спущенных озер | 82 |
| 6.2.7. Снижение негативного влияния рекреации | 82 |
| 6.3. Содержание практических работ при восстановлении озерных экосистем | 83 |

| | |
|--|------------|
| Глава 7. Очистка загрязненных сред от нефти и нефтепродуктов | 88 |
| 7.1. Состав нефти и нефтепродуктов | 88 |
| 7.2. Особенности воздействия нефти и нефтепродуктов на природные среды | 93 |
| 7.3. Особенности и условия трансформации нефти и нефтепродуктов в водных и почвенных средах | 96 |
| 7.4. Способы очистки от загрязнения нефтью и нефтепродуктами | 105 |
| 7.5. Проведение ремедиационных и рекультивационных работ при загрязнении поверхности водоемов и почв | 111 |
| 7.6. Особенности проведения очистных работ при загрязнении подземных горизонтов и грунтовых вод | 135 |
| Глава 8. Биологическое удаление тяжелых металлов и радионуклидов | 140 |
| 8.1. Тяжелые металлы и радионуклиды как приоритетные загрязнения | 140 |
| 8.2. Очистка водных сред | 142 |
| 8.3. Очистка почвенных сред и твердых отходов | 157 |
| Глава 9. Биоповреждения и биокоррозия | 171 |
| 9.1. Определение и классификация биоповреждений | 171 |
| 9.2. Микробиологическая коррозия и повреждение материалов | 173 |
| 9.2.1. Коррозия металлических изделий | 177 |
| 9.2.2. Коррозия зданий и строительных материалов | 186 |
| 9.2.3. Повреждение полимерных материалов | 189 |
| 9.2.4. Повреждение микроорганизмами других материалов | 191 |
| 9.3. Защита материалов от биоповреждений | 193 |
| Глава 10. Мониторинг окружающей среды, биотестирование и биоиндикация | 200 |
| 10.1. Мониторинг | 200 |
| 10.2. Биотестирование и биоиндикация | 204 |
| 10.2.1. Химические тест-методы | 205 |
| 10.2.2. Методы биотестирования и биоиндикации | 206 |
| 10.3. Особенности биоиндикации в природных средах | 225 |
| 10.3.1. Биоиндикация в воздухе | 226 |
| 10.3.2. Биоиндикация водных экосистем | 228 |
| 10.3.3. Биоиндикация загрязнения почвы | 231 |
| Глава 11. Токсикологическое и экологическое нормирование | 236 |
| 11.1. Цели, задачи и основные принципы | 236 |
| 11.2. Методология санитарно-гигиенического нормирования | 240 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 11.3. | Особенности нормирования загрязнения природных сред | 244 |
| 11.3.1. | Нормирование загрязняющих веществ в воздухе | 244 |
| 11.3.2. | Нормирование загрязняющих веществ в водных объектах | 247 |
| 11.3.3. | Нормирование загрязняющих веществ в почве | 250 |
| 11.4. | Расчеты ПДВ и ПДС | 257 |
| 11.5. | Особенности экологического нормирования | 258 |
| 11.6. | Биобезопасность, особенности получения разрешений на использование и нормирование воздействия компонентов биотехнологических производств и биопрепаратов | 263 |

Глава 12. Законодательные и эколого-экономические механизмы реализации природоохранных технологий . . . 275

| | | |
|---------|--|-----|
| 12.1. | Природоохранное законодательство в России | 275 |
| 12.2. | Механизмы реализации природоохранной деятельности . . . | 277 |
| 12.2.1. | Административно-правовые механизмы | 278 |
| 12.2.2. | Экономические механизмы | 283 |
| 12.2.3. | Организационно-управленческие средства | 291 |
| 12.3. | Оценка качества окружающей среды, ОВОС и оценка риска . . . | 305 |
| 12.3.1. | Оценка качества окружающей среды | 305 |
| 12.3.2. | Оценка воздействия на окружающую среду | 311 |
| 12.3.3. | Оценка риска | 316 |
| 12.4. | Малоотходные технологии и экологически чистое производство | 326 |
| 12.4.1. | Ресурсосберегающие, малоотходные и безотходные технологии | 326 |
| 12.4.2. | Экологически чистое производство | 328 |
| 12.4.3. | Экологически чистые биотехнологии и биологическая очистка сточных вод | 342 |
| 12.5. | Эколого-экономическая оценка природоохранных технологий | 348 |
| 12.5.1. | Выбор технологических и конструкторских решений | 348 |
| 12.5.2. | Затраты на природоохранную деятельность, экологический ущерб и эколого-экономический эффект | 351 |

Приложение 1. Оценочный технико-экономический расчет процессов биосинтеза и биологической очистки 356

Приложение 2. Методики определения токсичности воды и мутагенного действия с использованием биотест-систем 405

Литература 411

Сокращения 441

Предметный указатель 446

| | | |
|---------|---|-----|
| 11.3. | Особенности нормирования загрязнения природных сред | 244 |
| 11.3.1. | Нормирование загрязняющих веществ в воздухе | 244 |
| 11.3.2. | Нормирование загрязняющих веществ в водных объектах | 247 |
| 11.3.3. | Нормирование загрязняющих веществ в почве | 250 |
| 11.4. | Расчеты ПДВ и ПДС | 257 |
| 11.5. | Особенности экологического нормирования | 258 |
| 11.6. | Биобезопасность, особенности получения разрешений на использование и нормирование воздействия компонентов биотехнологических производств и биопрепаратов | 263 |

| | |
|--|------------|
| Глава 12. Законодательные и эколого-экономические механизмы реализации природоохранных технологий | 275 |
| 12.1. Природоохранное законодательство в России | 275 |
| 12.2. Механизмы реализации природоохранной деятельности | 277 |
| 12.2.1. Административно-правовые механизмы | 278 |
| 12.2.2. Экономические механизмы | 283 |
| 12.2.3. Организационно-управленческие средства | 291 |
| 12.3. Оценка качества окружающей среды, ОВОС и оценка риска . . . | 305 |
| 12.3.1. Оценка качества окружающей среды | 305 |
| 12.3.2. Оценка воздействия на окружающую среду | 311 |
| 12.3.3. Оценка риска | 316 |
| 12.4. Малоотходные технологии и экологически чистое производство | 326 |
| 12.4.1. Ресурсосберегающие, малоотходные и безотходные технологии | 326 |
| 12.4.2. Экологически чистое производство | 328 |
| 12.4.3. Экологически чистые биотехнологии и биологическая очистка сточных вод | 342 |
| 12.5. Эколого-экономическая оценка природоохранных технологий | 348 |
| 12.5.1. Выбор технологических и конструкторских решений | 348 |
| 12.5.2. Затраты на природоохранную деятельность, экологичес- кий ущерб и эколого-экономический эффект | 351 |

| | |
|--|------------|
| Приложение 1. Оценочный технико-экономический расчет процессов биосинтеза и биологической очистки | 356 |
|--|------------|

| | |
|---|------------|
| Приложение 2. Методики определения токсичности воды и мутагенного действия с использованием биотест-систем | 405 |
|---|------------|

| | |
|---------------------------------------|------------|
| Литература | 411 |
| Сокращения | 441 |
| Предметный указатель | 446 |