

Т. Е. Булова, О. Б. Иванченко

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
ГИОРД
2018

УДК 664.001.25(07)

ББК 30.16

Б91

Рецензенты:

С. В. Мурашев — доктор технических наук, доцент кафедры технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»;
В. И. Филиппов — кандидат технических наук, профессор кафедры технологии мясных, рыбных продуктов и консервирования холодом ФГАОУ ВО «Университет ИТМО»

Бурова Т. Е.

Б91 Экологическая биотехнология: учеб. пособие / Т. Е. Бурова, О. Б. Иванченко. — СПб. : ГИОРД, 2018. — 176 с.

ISBN 978-5-98879-204-8

В издании рассмотрены проблемы экологической биотехнологии, подразумевающей использование живых организмов для переработки опасных отходов и борьбы с загрязнением окружающей среды. Методы экологической биотехнологии обеспечивают более эффективное по сравнению с традиционными подходами обезвреживание разнообразных токсических отходов.

Учебное пособие предназначено для бакалавров (19.03.01) и магистрантов (19.04.01), обучающихся по направлению «Биотехнология».

УДК 664.001.25(07)

ББК 30.16

ISBN 978-5-98879-204-8

© Издательство «ГИОРД», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ.....	9
Глава 2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	14
2.1. Аэробные процессы очистки сточных вод.....	17
2.2. Анаэробные процессы очистки стоков.....	27
2.3. Переработка отходов после очистки воды.....	29
Глава 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БИОЭНЕРГЕТИКА.....	37
3.1. Биометаногенез.....	39
3.2. Получение спирта.....	54
3.3. Жидкие углеводороды.....	57
3.4. Биологическое получение водорода.....	59
3.5. Биотопливные элементы и биоэлектродкатализ.....	63
Глава 4. БИОГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ.....	68
4.1. Бактериальное выщелачивание.....	68
4.2. Биосорбция металлов из растворов.....	76
4.3. Обогащение руд.....	78
4.4. Биогeотехнология обессеривания углей.....	79
4.5. Биогeотехнология и борьба с метаном в угольных шахтах...80	
4.6. Биогeотехнология и повышение нефтеотдачи пластов.....	81

Глава 5. УТИЛИЗАЦИЯ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ	83
5.1. Утилизация коммунальных отходов.....	83
5.2. Компостирование органических отходов.....	88
5.3. Биологическая переработка промышленных отходов	89
Отходы химической промышленности.....	90
Отходы молочной промышленности. Биотехнологические аспекты переработки молочной сыворотки.....	92
Промышленная биотехнология переработки отходов спиртовых заводов.....	94
Отходы целлюлозно-бумажной промышленности	98
Биоконверсия лигноцеллюлозных отходов.....	101
Отходы от производства красителей	104
5.4. Отходы биотехнологического производства	107
Твердые отходы	108
Жидкие отходы.....	110
Газообразные отходы	113
5.5. Биодegradация нефтяных загрязнений	113
Глава 6. ГЕНЕТИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ОРГАНИЗМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	116
6.1. Принципы оценки экологического риска.....	116
6.2. Возможное непреднамеренное влияние генетически модифицированных организмов на нецелевые организмы, экосистемы и биоразнообразие.....	118
Ауткроссинг	120
Генетически модифицированные животные	121
Генетически модифицированные микроорганизмы	122
6.3. Статус методов оценки возможного попадания генетически модифицированных микроорганизмов в окружающую среду	122
6.4. Региональная специфика оценки безопасности.....	123
6.5. Мониторинг безопасности для здоровья человека и окружающей среды	126

Глава 7. РОЛЬ БИОТЕХНОЛОГИИ В ЗАЩИТЕ И ОЗДОРОВЛЕНИИ БИОСФЕРЫ	130
7.1. Очистка атмосферного воздуха.....	135
7.2. Биodeградация ксенобиотиков в окружающей среде	138
Участие микробных сообществ в биodeградации ксенобиотиков	139
Биodeградация поверхностно-активных веществ.....	145
7.3. Экологический потенциал растений.....	149
Неорганические токсиканты.....	152
Органические токсиканты.....	153
Чужеродные соединения.....	156
Углеводороды и растения.....	162
7.4. Биоремедиация.....	164
7.5. Применение экологической биотехнологии	169
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	171

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АСБ — абсолютно сухая биомасса
БАВ — биологически активные вещества
БПК — биологическое потребление кислорода
ГМ — генетически модифицированный
ГММ — генетически модифицированные микроорганизмы
ГМО — генетически модифицированные организмы
ДДТ — 4,4'-дихлордифенилтрихлорметилметан
ДКАБ — 4,4'-дикарбоксиазобензол
ЖМО — живые модифицированные организмы
КМС — карбоксиметилсукцинат
НТА — нитрилтриацетат
ОДА — оксидиацетат
ОЭР — оценка экологического риска
ПХБ — полихлорбифенилы
ПЦР — полимеразная цепная реакция
ХПК — химическое потребление кислорода
ЭГДА — этиленгликольдиацетат
ЭП — электродный потенциал

АТР — Adenosin triphosphate, аденозинтрифосфат (АТФ)

Bt — *Bacillus thuringiensis*

САС — Codex Alimentarius¹ Commission (Комиссия Кодекс Алиментариус, ККА)

СВД — Convention on Biological Diversity (Конвенция о биологическом разнообразии)

СРВ — Cartagena Protocol on Biosafety (Картахенский протокол по биобезопасности)

FAO, ФАО — Организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

WHO, ВОЗ — Всемирная организация здравоохранения (World Health Organization)

¹ Кодекс Алиментариус (лат. Codex Alimentarius) — пищевой, или продовольственный, кодекс.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с возрастающей угрозой здоровью и жизни человечества все больший вес приобретают меры снижения давления на окружающую среду неблагоприятных факторов, что входит в программу раздела науки, называемой экобиотехнологией.

Некоторые перспективы и проблемы развития этого направления включают вопросы разработки и практического использования биологических методов очистки сточных вод. В области биоремедиации наиболее актуальны исследования для очистки почв от нефтепродуктов, пестицидов, тяжелых металлов, хлорорганических соединений методами *in situ*. Для очистки нефтезагрязненных водоемов и акваторий разрабатываются технологии получения готовых форм биопрепаратов, повышающих эффективность их использования (иммобилизованные клетки, биофильтры, наполнители и т. д.). В области переработки твердых отходов широко используются методы компостирования, вермикомпостирования и вермикультивирования. Создаются биопрепараты, биоудобрения и другие биологические материалы для рекультивации, реабилитации, озеленения территорий, благоустройства урбанизированных ландшафтов, восстановления плодородия почв, защиты почв, береговых линий, инженерных сооружений и т. д. Накоплен большой опыт и продолжают исследования в области изучения состава биоценозов в процессах загрязнения водоемов и почв и самоочищения их от загрязнителей² (в частности, от нефтезагрязнений, тяжелых металлов); используются специализированные популяции микроорганизмов, генно-инженерные штаммы. Развиваются селективные, чувствительные и воспроизводимые методы анализа

² Загрязняющее вещество (загрязнитель) — любое химическое вещество или соединение, которое находится в объекте окружающей природной среды в количествах, превышающих фоновые значения и вызывающих тем самым химическое загрязнение.

токсикантов в природных средах на основе биосенсоров, биотестов и биоиндикаторных систем.

В данном издании рассмотрены вопросы, связанные со специфическим применением биотехнологических методов для решения проблем окружающей среды, таких как переработка отходов, очистка воды, устранение загрязнений, что составляет предмет экологической биотехнологии — новейшего подхода к охране и сохранению окружающей среды при совместном использовании достижений биохимии, микробиологии, генетической инженерии и химических технологий. Учебное пособие рекомендуется использовать при изучении дисциплин «Безопасность сырья и продуктов биотехнологии», «Экологическая биотехнология», «Сельскохозяйственная биотехнология».

Глава 1

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

В результате промышленной, сельскохозяйственной и бытовой деятельности человека возникают различные изменения состояния и свойств окружающей среды, в том числе очень неблагоприятные. С развитием и интенсификацией промышленной и сельскохозяйственной деятельности в XX в. стали ощущаться пределы естественной продуктивности биосферы, — истощаются природные ресурсы, источники энергии, все более ощущается дефицит пищи, чистой воды и воздуха. Загрязнение окружающей среды во многих регионах достигло критического предела. Во многом все эти проблемы порождены научно-техническим прогрессом общества и должны решаться также с использованием новейших достижений.

Проблему экологии нельзя решать в масштабах одной страны или группы стран. Вредные антропогенные загрязнения, вырабатываемые в индустриально развитых регионах и странах, в результате естественной циркуляции водных и воздушных масс распространяются по всей территории Земли, вплоть до обоих полюсов, проникают в глубины океанов, достигают стратосферы. Глобальность данной проблемы еще в 1899 г. подчеркивал профессор К. А. Тимирязев.

Важнейшая роль в вопросах защиты и охраны окружающей среды принадлежит биологии. Сама экология в традиционном понимании является биологической дисциплиной и изучает взаимоотношения организмов, включая организм человека, между собой и окружающей средой. Дальнейшее развитие биологии и внедрение ее достижений в практику — один из главных путей выхода из надвигающегося экологического кризиса.

Большую роль играет при этом биотехнология, которая позволяет решать ряд экологических проблем, включая защиту

окружающей среды от промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов, деградацию токсикантов, попавших в среду; на основе биотехнологии создаются малоотходные промышленные процессы получения пищевых и лекарственных веществ, кормов, минерального сырья, энергии. Масштабы биологических процессов для решения природоохранных задач могут быть, по выражению Д. Беста (D. J. Best), «ошеломляющими».

Экология и биотехнология взаимодействуют как через продукты, так и через технологии. В целом это способствует экологизации антропогенной деятельности и возникновению более гармоничных отношений между обществом и природой.

Экологическая биотехнология сформировалась в 1980-е гг., а свое теперешнее короткое и емкое название — эковиотехнология — получила совсем недавно (синонимы: **«биотехнология окружающей среды»**), или **«природоохранная биотехнология»**).

Специфическое применение биотехнологических методов для решения многих проблем окружающей среды (переработки отходов, очистки воды, устранения загрязнений), как указано выше, и составляет **предмет экологической биотехнологии**. Эковиотехнология — это новейший подход к охране и сохранению окружающей среды при совместном использовании достижений биохимии, микробиологии, генетической инженерии и химических технологий.

Круг проблем, решаемых эковиотехнологией, чрезвычайно широк — от разработки и совершенствования методологии комплексного химико-биологического исследования экосистем вблизи источников техногенных воздействий до разработки технологий и рекомендаций по рекультивации почвы, биологической очистке воды и воздуха и биосинтезу препаратов, компенсирующих вредное влияние изменения окружающей среды на людей и животных.

Все биотехнологические процессы базируются на микробиологических процессах, и главное действующее «лицо», и инструмент, который обеспечивает прохождение тех или иных реакций, — это микроорганизмы — очень важная ветвь живого мира.

Вся жизнь началась с развития микроорганизмов. Благодаря им стабилизировались современные циклы азота, кислорода, углерода, серы. От древних микроорганизмов произошли первые фотосинтезирующие микроорганизмы, которые обеспечили образование кислородной атмосферы на Земле и развитие высших растений. Но самая главная роль микроорганизмов на сегодняшний день — это деструкция. Все то, что производится живыми существами — микроорганизмами, растениями, животными и человеком, в конечном итоге утилизируется микроорганизмами, то есть разлагается до простых веществ: углекислоты, молекулярного азота, солей различных элементов. Таким образом, микроорганизмы — это чистильщики планеты, которые обеспечивают постоянство функционирования нашей биосферы.

Помимо использования микроорганизмов в пищевой, фармацевтической, химической промышленности и в генной инженерии, появилась возможность их применения для переработки загрязнений и отходов жизнедеятельности человека.

В первую очередь речь идет о загрязнениях, которые называются биodeградебельными, то есть способными разлагаться в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Почти на любое органическое вещество, не свойственное природе (ксенобиотик), находится микроорганизм или группа микроорганизмов, которые разлагают его до простых соединений. В частности, гербициды и пестициды, которые так широко применяются в сельском хозяйстве, могут разлагаться под действием микроорганизмов.

Одной из основных задач эковиотехнологии является разработка технологий, связанных с очисткой сточных вод. Сделать из грязной воды чистой можно только с помощью микроорганизмов в условиях активной аэрации (активного снабжения воздухом). Полученная чистая вода подходит для сброса в рыбохозяйственные водоемы, в окружающую среду после очистки — в реку, в озеро или напрямую в море, как, например, в Петербурге.

Есть микроорганизмы, которые живут без доступа кислорода — это анаэробные микроорганизмы, самые древние