

БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. ИММАНУИЛА КАНТА

Л. С. Дышлюк, Ю. В. Куликова
С. А. Сухих, О. О. Бабич

ЭКОБИОТЕХНОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Учебно-методическое пособие

Издательство
Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта
2026

УДК 574.2

ББК 28.087

Д91

Рецензент

О. В. Кригер, д-р техн. наук, доц.,
Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Авторский коллектив

Л. С. Дышлюк, д-р техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта; *Ю. В. Куликова*, канд. техн. наук, Балтийский федеральный университет им. И. Канта; *С. А. Сухих*, д-р техн. наук, доц., проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта; *О. О. Бабич*, д-р техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта

Дышлюк, Л. С.

Д91 Экобиотехнология: теория и практика : учебно-методическое пособие / Л. С. Дышлюк, Ю. В. Куликова, С. А. Сухих, О. О. Бабич. — Калининград : Издательство БФУ им. И. Канта, 2026. — 66 с.

ISBN 978-5-9971-1053-6

В пособии представлены практические работы по дисциплине «Экобиотехнология: теория и практика», направленные на закрепление теоретического материала и приобретение навыков по расчету критериев оценки качества атмосферного воздуха, подбору тест-объектов и методик для биоиндикации и биотестирования объектов окружающей среды (воды, почв, атмосферного воздуха), подбору микроорганизмов (бактерий, микроскопических грибов) — деструкторов ксенобиотиков и синтетических полимеров, выбору биологических методов рекультивации почв, загрязненных определенными поллютантами, выбору сырья для производства твердого, жидкого и газообразного биотоплива.

Предназначено для студентов магистратуры, обучающихся по направлению «Биотехнология».

УДК 574.2

ББК 28.087

© Дышлюк Л. С., Куликова Ю. В.,
Сухих С. А., Бабич О. О., 2026

© Оформление, БФУ им. И. Канта, 2026

ISBN 978-5-9971-1053-6

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическая работа № 1. Нормирование качества окружающей среды. ПДК. Эффект суммации.....	5
Практическая работа № 2. Биоиндикация и биотестирование	18
Практическая работа № 3. Биологическая очистка сточных вод.....	22
Практическая работа № 4. Биоразлагаемые полимеры. Микроорганизмы — деструкторы синтетических полимеров	29
Практическая работа № 5. Методы биоремедиации почв	35
Практическая работа № 6. Биотопливо: понятие, виды, классификация	48
Принятые сокращения терминов.....	59
Список рекомендуемой литературы.....	60
Список литературы	61

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение объектов окружающей среды промышленными отходами, тяжелыми металлами, пестицидами и сточными водами является серьезной проблемой. Оно влияет на здоровье человека, на сельскохозяйственное производство и наносит вред окружающей среде во всем мире [38].

Антропогенная деятельность, вызывающая различные изменения состояния окружающей среды, привела к необходимости создания новых направлений биотехнологии, в частности экологической биотехнологии (экобиотехнологии).

Экобиотехнология представляет собой прикладной раздел общей биотехнологии, изучающий применение биологических систем и процессов для решения задач улучшения качества окружающей среды и рационального природопользования. Экобиотехнология рассматривает широкий круг задач, связанных с созданием безотходных технологий, методов рекультивации почв, очистки воды и газовоздушных выбросов с использованием биологических объектов, разработкой биологических средств защиты растений, совершенствованием методов мониторинга состояния окружающей среды, разработкой подходов к созданию биоразлагаемых материалов.

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для студентов магистратуры, обучающихся по направлению «Биотехнология», и ставит целью закрепление и углубление их теоретических знаний по изучаемой дисциплине, развитие практических умений, необходимых для проведения научных исследований, навыков анализа получаемой информации, формулирования выводов и заключений, использования соответствующих норм и регламентов. В пособии также представлен список используемых сокращений и список литературы, рекомендуемой при выполнении заданий.

Практическая работа № 1
НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.
ПДК. ЭФФЕКТ СУММАЦИИ

1.1. Цель практической работы: сформировать умения и навыки расчета некоторых критериев оценки качества атмосферы городов, использующихся при проведении оценки воздействия на окружающую среду.

1.2. Теоретический материал.

Согласно статье 19 «Основы нормирования в области охраны окружающей среды» федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 25.12.2023 г.):

1. Нормирование в области охраны окружающей среды осуществляется в целях гарантирующего сохранение благоприятной окружающей среды и обеспечение экологической безопасности государственного регулирования хозяйственной и (или) иной деятельности для предотвращения и (или) снижения ее негативного воздействия на окружающую среду.

2. Нормирование в области охраны окружающей среды заключается в установлении нормативов качества окружающей среды, нормативов допустимого воздействия на окружающую среду при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности.

3. Разработка нормативов в области охраны окружающей среды включает в себя:

- проведение научно-исследовательских работ для обоснования нормативов в области охраны окружающей среды;
- установление оснований для разработки или пересмотра нормативов в области охраны окружающей среды;
- утверждение и опубликование нормативов в области охраны окружающей среды в установленном порядке;

— оценку и прогнозирование экологических, социальных, экономических последствий применения нормативов в области охраны окружающей среды.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) — количество загрязняющего вещества в окружающей среде (почве, воздухе, воде, продуктах питания), которое при постоянном или временном воздействии на человека не влияет на его здоровье и не вызывает неблагоприятных последствий у его потомства.

1.2.1. Нормирование качества атмосферного воздуха.

Предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДК_{рз}) — это максимальная концентрация, которая при ежедневной (кроме выходных дней) работе в течение 8 часов или при другой продолжительности, но не более 41 часа в неделю на протяжении всего рабочего стажа не должна вызывать заболевания или отклонения в состоянии здоровья, обнаруживаемые современными методами исследования, в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений.

Рабочей зоной следует считать пространство высотой до 2 метров над уровнем пола или площади, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих.

Предельно допустимая концентрация максимально разовая (ПДК_{мр}) — это максимальная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, не вызывающая при вдыхании в течение 20 — 30 минут рефлекторных (в том числе субсенсорных) реакций в организме человека (ощущение запаха, изменение световой чувствительности глаз и др.).

Предельно допустимая концентрация среднесуточная (ПДК_{сс}) — это максимальная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного воздействия при неограниченно долгом (годы) вдыхании.

Ориентировочно безопасный уровень воздействия загрязняющего атмосферу вещества (ОБУВ) — временный гигиени-

ческий норматив для загрязняющего атмосферу вещества, устанавливаемый расчетным методом для целей проектирования промышленных объектов [4].

1.2.2. Нормирование качества воды водоемов и водотоков.

Предельно допустимая концентрация в воде водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ПДК_в) — это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей его жизни и на здоровье последующих поколений и не должна ухудшать гигиенические условия водопользования.

Предельно допустимая концентрация в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей, — это максимальная концентрация вредного вещества в воде, которая не должна оказывать вредного влияния на популяции рыб, в первую очередь промысловых. Сокращенно обозначается как ПДК_{вр}.

Различают водопользование двух категорий:

- 1) использование для нужд населения;
- 2) использование для целей рыбного хозяйства (рис. 1).

Предельно допустимый выброс (ПДВ) или сброс (ПДС) — это максимальное количество загрязняющих веществ, которое в единицу времени разрешается данному конкретному предприятию выбрасывать в атмосферу или сбрасывать в водоем, не вызывая при этом превышения в них предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и неблагоприятных экологических последствий.

Предельно допустимая экологическая (антропогенная) нагрузка на окружающую среду — это максимальная интенсивность антропогенного воздействия на окружающую среду, не приводящая к нарушению устойчивости экологических систем (или, иными словами, к выходу экосистемы за пределы экологической емкости) [4; 17].

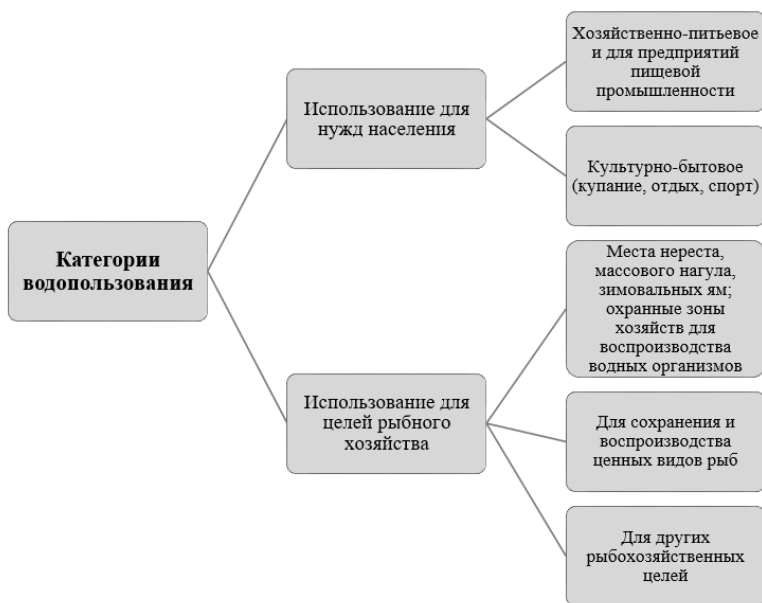


Рис. 1. Категории водопользования

1.2.3. Нормирование загрязнений сельскохозяйственных почв.

Предельно допустимая концентрация в пахотном слое почвы (ПДК_п) — это максимальная концентрация вредного вещества в верхнем слое почвы, которая не должна оказывать прямого или косвенного отрицательного влияния на здоровье человека, плодородие почвы, ее самоочищающую способность, соприкасающиеся с ней среды и не приводящая к накоплению вредных веществ в сельскохозяйственных культурах.

Общесанитарный показатель вредности почв характеризует влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность, в том числе степень воздействия на почвенные микроорганизмы.

Воздушно-миграционный показатель вредности почв характеризует способность химического вещества переходить из почвы в атмосферный воздух.

Транслокационный показатель вредности почв характеризует способность токсичных веществ переходить из почвы в растение [4; 17].

1.2.4. Нормирование качества продуктов питания.

Предельно допустимая концентрация (допустимое остаточное количество) вредного вещества в продуктах питания (ПДК_{пр}) — это максимальная концентрация вредного вещества в продуктах питания, которая в течение неограниченно продолжительного времени (при ежедневном воздействии) не вызывает заболеваний или отклонений в состоянии здоровья человека.

1.2.5. Комбинированное воздействие химических веществ на организм.

Комбинированное воздействие химических веществ на организм может проявляться в трех вариантах: аддитивность (суммация), синергизм или антагонизм.

Суммация (аддитивное действие).

При содержании в природном объекте нескольких загрязняющих веществ, обладающих однонаправленным действием, учитывают их совместное воздействие. Сумма их концентраций не должна превышать при расчете единицы:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} < 1, \quad (1)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ — фактические концентрации вредных веществ в воздухе, воде, почве, продуктах питания;

$\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ — предельно допустимые концентрации вредных веществ, которые установлены для их изолированного присутствия.

На практике эффект суммации посредством оценки концентрации через нормирование по веществу, относящемуся к наиболее неблагоприятному классу опасности, рассчитывается по формуле

$$C_{\text{пр}} = C_1 + C_2 \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_2} + \dots + C_n \frac{\text{ПДК}_1}{\text{ПДК}_n}, \quad (2)$$

где $C_{\text{пр}}$ — приведенная концентрация вещества, характеризующая всю группу загрязняющих веществ, действующих по принципу суммации.

Таким образом, об *аддитивности* мы говорим тогда, когда токсикологическое действие какого-либо вещества в смеси пропорционально его концентрации.

Синергизм проявляется в случаях, если токсическое действие смеси усиливается по отношению к индивидуальным веществам. Эффект синергизма больше аддитивного:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} > 1. \quad (3)$$

При *антагонизме*, или ингибировании, происходит снижение воздействия одного или обоих веществ в результате их взаимовлияния:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} < 1. \quad (4)$$

Для оценки комплексного действия химических веществ рекомендуется использовать формулу суммационного эффекта:

$$\frac{C_{\text{атм}}}{\text{ПДК}_{\text{атм}}} + \frac{C_{\text{вода}}}{\text{ПДК}_{\text{вода}}} + \frac{C_{\text{пища}}}{\text{ПДК}_{\text{пища}}} \leq 1, \quad (5)$$

где $C_{\text{атм}}$, $C_{\text{вода}}$, $C_{\text{пища}}$ — концентрация вредных веществ в атмосфере, воде и продуктах питания соответственно;

$\text{ПДК}_{\text{атм}}$, $\text{ПДК}_{\text{вода}}$, $\text{ПДК}_{\text{пища}}$ — предельно допустимая концентрация вредного вещества в атмосфере, воде, продуктах питания [1; 14].

Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и/или безвредности для человека факторов среды обитания устанавливаются санитарными правилами и нормами СанПиН 1.2.3685-21.

По степени воздействия на организм человека вредные вещества подразделяются на 4 класса опасности:

1) чрезвычайно опасные ($\text{ПДК} < 0,1 \text{ мг/м}^3$), например свинец, ртуть, озон;

2) высокоопасные ($\text{ПДК} = 0,1\text{—}1,0 \text{ мг/м}^3$), например марганец, хлор, азотная кислота;

3) умеренно ($\text{ПДК} = 1,0\text{...}10 \text{ мг/м}^3$), например азота диоксид, метиловый спирт, сернистый ангидрид;

4) малоопасные ($\text{ПДК} > 10 \text{ мг/м}^3$), например угарный газ, ацетон, аммиак [4; 13; 17].

1.3. Задание для практической работы.

1. Выбрать вариант задания по указанию преподавателя (табл. 1). Заполнить таблицу 2 в соответствии с вариантом. Сопоставить данные концентрации веществ с ПДК по соответствующему варианту (табл. 1), сделать вывод о соответствии нормам каждого из веществ в отдельности по графам 9—11 таблицы 2, то есть

$$C_x < \text{ПДК}; C_x > \text{ПДК}; C_x = \text{ПДК}.$$

Принять решение о соответствии нормам заданной по варианту совокупности веществ в случае их одновременного воздействия.

Таблица 1

Таблица вариантов заданий к практической работе

Вариант	Вещество	Фактическая концентрация, мг/м^3
1	Акролеин	0,02
	Дихлорэтан	4,3
	Хлор	0,01
	Оксид углерода	12,0
	Сернистый ангидрид	0,05
	Оксид хрома	0,15

Продолжение табл. 1

Вариант	Вещество	Фактическая концентрация, мг/м ³
2	Двуокись азота	0,025
	Аммиак	0,4
	Окись хрома	0,15
	Сернистый ангидрид	0,6
	Ртуть	0,0015
	Акролеин	0,01
3	Двуокись азота	0,4
	Ацетон	0,1
	Бензол	0,03
	Фенол	0,015
	Оксид углерода	8,0
	Винилацетат	0,15
4	Серная кислота	0,3
	Азотная кислота	0,5
	Двуокись кремния	0,15
	Фенол	0,02
	Ацетон	0,3
	Озон	0,002
5	Азотная кислота	0,4
	Толуол	0,5
	Винилацетат	0,2
	Оксид углерода	12,0
	Оксид алюминия	10,0
	Гексан	0,005
6	Акролеин	0,01
	Дихлорэтан	6,0
	Хлор	0,02
	Трехокись хрома	0,1
	Ксилол	0,2
	Ацетон	0,15

Продолжение табл. 1

Вариант	Вещество	Фактическая концентрация, мг/м ³
7	Этиловый спирт	120,0
	Оксид углерода	14,0
	Озон	0,005
	Серная кислота	0,03
	Соляная кислота	5,5
	Сернистый ангидрид	0,02
8	Фенол	0,002
	Окислы азота	0,15
	Вольфрам	10,0
	Полипропилен	6,0
	Ацетон	0,5
	Формальдегид	0,03
9	Аммиак	0,02
	Ацетон	165,0
	Бензол	0,07
	Озон	0,002
	Дихлорэтан	5,5
	Фенол	0,7
10	Озон	0,02
	Метиловый спирт	0,4
	Ксилол	0,5
	Двуокись азота	0,4
	Формальдегид	0,01
	Толуол	0,25
11	Аммиак	0,002
	Оксид азота (II)	0,2
	Вольфрам	4,5
	Оксид алюминия	5,5
	Оксид углерода	7,0
	Фенол	0,015

Продолжение табл. 1

Вариант	Вещество	Фактическая концентрация, мг/м ³
12	Оксид азота (IV)	0,15
	Оксид алюминия	5,0
	Фенол	0,02
	Бензол	0,05
	Формальдегид	0,02
	Винилацетат	0,15
13	Оксид углерода	12,0
	Этилендиамин	0,2
	Аммиак	0,15
	Двуокись азота	3,0
	Ацетон	110,0
	Бензол	0,03
14	Оксид алюминия	12,0
	Двуокись кремния	0,25
	Акролеин	0,03
	Гексан	0,007
	Аммиак	0,005
	Ртуть	0,002
15	Озон	0,001
	Аммиак	0,01
	Дихлорэтан	5,0
	Метиловый спирт	0,5
	Трехокись хрома	0,15
	Вольфрам	5,0
16	Хлор	0,02
	Метиловый спирт	0,8
	Оксид углерода	10,0
	Формальдегид	0,05
	Ксилол	0,15
	Винилацетат	0,1

Окончание табл. 1

Вариант	Вещество	Фактическая концентрация, мг/м ³
17	Фенол	0,001
	Соляная кислота	0,05
	Сернистый ангидрид	0,015
	Двуокись азота	0,5
	Ацетон	100,0
	Полипропилен	10,0
18	Акролеин	0,02
	Дихлорэтан	5,0
	Озон	0,015
	Оксид углерода	12,0
	Формальдегид	0,01
	Вольфрам	5,0

2. Оценить эффект суммации. Выявить вещества, обладающие суммацией действия, обозначив их символом Σ перед названием вещества (в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21). При этом считать, что эффект суммации имеет место, если хотя бы два из веществ, заданных по варианту, имеются в таблице 2 (с. 16). Рассчитать эффект суммации (для ПДК_{рз}, ПДК_{мр}, ПДК_{сс}) и сделать вывод.

1.4. Контрольные вопросы.

1. Дайте определение предельно допустимой концентрации вещества, ПДК_{рз}, ПДК_{мр}, ПДК_{сс}.
2. Назовите основные категории водопользования.
3. Сформулируйте определение предельно допустимой экологической (антропогенной) нагрузки на окружающую среду.
4. В чем отличие воздушно-миграционного показателя вредности почв от транслокационного показателя?
5. Дайте определение ПДК_{пр}.

Исходные данные и нормирующие значения

Вариант	Вещество	Концентрация вещества, мг/м ³					Класс опасности	Особенности воздействия	Соответствие нормам каждого из веществ в отдельности		
		Факт.	ПДК			В воздухе рабочей зоны			В воздухе населенных мест при времени воздействия		
			ПДК _{рз}	ПДК _{ср}	ПДК _{сс}						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
X	Аммиак	0,02	20,0	0,2	0,04	IV	—	<ПДК(+)	<ПДК(+)	<ПДК(+)	
	Азота диоксид	5,0	2,0	0,085	0,04	II	O	> ПДК(–)	> ПДК(–)	> ПДК(–)	
	Гексан	0,01	300,0	60,0	—	IV	—	<ПДК(+)	<ПДК(+)	—	

Примечание. В столбцах 9, 10, 11 соответствие нормам обозначить знаком (+), а несоответствие — знаком (-).

6. В каких вариантах может проявляться комбинированное воздействие химических веществ на организм человека?

7. Запишите математические выражения эффекта суммации, синергизма и антагонизма веществ.

8. Назовите несколько комбинаций веществ, которые согласно СанПиН 1.2.3685-21 обладают эффектом однонаправленного действия.

9. На какие классы опасности подразделяются вредные вещества по степени воздействия на организм человека?

10. Назовите мероприятия по обеспечению безопасности труда при контакте с вредными веществами.

Практическая работа № 2

БИОИНДИКАЦИЯ И БИОТЕСТИРОВАНИЕ

2.1. Цель практической работы: сформировать умения и навыки подбора тест-объектов и методик для биоиндикации и биотестирования объектов окружающей среды: воды, почв, атмосферного воздуха.

2.2. Теоретический материал.

В последние годы биотическая концепция является доминирующей в экологическом контроле природных сред. Широкое использование биологической диагностики наряду с биоиндикацией *in situ* включает лабораторную оценку экотоксичности образцов в ходе *ex situ* биотестирования [46].

Основное отличие биоиндикации от биотестирования заключается в том, что при биоиндикации оценка качества среды обитания проводится по состоянию биоты в природных условиях, в то время как биотестирование предусматривает использование в контролируемых (лабораторных) условиях биологических тест-объектов для выявления и оценки действия факторов окружающей среды (в том числе токсических) на организм, его отдельную функцию или систему организмов.

Биоиндикация и биотестирование — два классических метода оценки экологического состояния природных сред, которые дополняют друг друга. Методы биоиндикации обладают важным преимуществом перед физико-химическими методами контроля. Их суть заключается в интегральном характере реакций биоты (микроорганизмов, растений, беспозвоночных), которые суммируют все биологически важные показатели окружающей среды и отражают ее состояние в целом [47].

В качестве биоиндикаторов используются такие организмы, как хвойные деревья, лишайники (лихеноиндикация), мхи (бриофлора), донная (бентосная) беспозвоночная флора, зоо-

планктон, рыбная фауна, водные растения, почвенная микро- (панцирные клещи, многохвостки) и мезофауна (мокрицы, пауки, дождевые черви), микроорганизмы [2; 8].

Одним из широко распространенных методов биотестирования является биотестирование с использованием бактерий. В практике биотестирования среди бактерий используются виды в основном из двух родов: *Photobacterium* и *Vibrio* [47].

Так, морская бактерия *Vibrio fischeri* — один из популярных тест-организмов, используемых для биотестирования, описанный в стандарте ISO 11348. Бактерии *V. fischeri* обычно встречаются в симбиозе с различными морскими животными, такими как рыбы и кальмары, и обладают биолюминесцентными свойствами. Светло-голубое свечение бактерий создается системой люциферин-люцифераза. Однако интенсивность биолюминесценции снижается, когда дыхательный метаболизм подавляется токсичными компонентами в образцах окружающей среды [29; 39].

2.3. Задание для практической работы.

1. Используя Руководящий документ РД 52.24-868-2017, выписать в тетрадь все тест-объекты, используемые для биотестирования воды и донных отложений водотоков и водоемов. Для каждого тест-объекта указать регистрируемые показатели. Информацию представить в виде таблицы (пример оформления приведен в таблице 3).

2. Используя ГОСТ Р ИСО 22030-2009, ФР 1.39.2015.19243 и другую доступную литературу, выписать все тест-объекты, используемые для биотестирования / биоиндикации почв, указать регистрируемые показатели. Информацию представить в виде таблицы.

3. Используя ГОСТ Р 56166-2019 и другую доступную литературу, выписать все тест-объекты, используемые для биотестирования / биоиндикации атмосферного воздуха, указать регистрируемые показатели. Информацию представить в виде таблицы.

4. Описать сходства и различия между биоиндикацией и биотестированием.

Тест-объекты, используемые для биотестирования воды и донных отложений водотоков и водоемов (в соответствии с РД 52.24-868-2017)

Тест-объект	Регистрируемые показатели
Лабораторная культура дафний <i>Daphnia magna</i> St	Токсическое действие тестируемой воды устанавливается по снижению выживаемости или плодовитости дафний в опытной серии по сравнению с контрольной при определенной экспозиции. Выживаемость выражают как среднее число выживших дафний, плодовитость — как среднее число выметанной молоди в расчете на одну выжившую (на момент регистрации) особь в течение экспозиции в тестируемой воде. Критерием токсичности является снижение выживаемости дафний на 50 % по сравнению с контрольной серией для ОТД (острого токсического действия) при экспозиции 96 часов (4 суток), для ПОТД (подострого токсического действия) — при экспозиции от 4 до 7 суток. Выживаемость дафний в контрольной серии не должна быть ниже 90%.
Лабораторная культура инфузорий <i>Paramecium caudatum</i> Ehrenberg 1838, n/m <i>Ciliata</i>	Токсичность оценивают по показателю гибели (среднее количество погибших инфузорий) или показателю плодовитости (средний прирост численности инфузорий, появившихся от одной особи) в течение экспозиции. Критерием токсичности служит увеличение показателя гибели на 25 % и более, снижение плодовитости на 50 % и более в опытной серии по сравнению с контрольной в зависимости от экспозиции. Острое, подострое и хроническое токсическое действие тестируемой воды или водной вытяжки донных отложений на инфузорий устанавливают в зависимости от времени, по истечении которого показатели гибели и плодовитости достигают критерия токсичности: ОТД устанавливают при экспозиции от 1 до 24 часов, ПОТД — 48 часов, ХТД (хроническое токсическое действие) — 72 часа

2.4. Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте определения биоиндикации и биоиндикаторов.
2. Назовите случаи, когда биоиндикация становится незаменимой.
3. В чем отличие специфической биоиндикации от неспецифической?
4. Приведите примеры живых организмов — биоиндикаторов.
5. Назовите общие критерии отбора биоиндикаторов.
6. Сформулируйте определения биотестирования и тест-объектов.
7. Назовите преимущества и недостатки биотестового анализа.
8. Каковы критерии выбора тест-объекта для биотестирования?
9. Назовите основные количественные меры токсичности. Дайте их определения.
10. Что представляет собой отрицательный контроль в биотестировании?

Практическая работа № 3

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

3.1. Цель практической работы: сформировать умения и навыки подбора штаммов микроорганизмов (бактерий, микроскопических грибов) — деструкторов ксенобиотиков.

3.2. Теоретический материал.

Согласно пункту 19 статьи 1 Водного кодекса РФ, сточные воды — это дождевые, талые, инфильтрационные, поливочные, дренажные воды, сточные воды централизованной системы водоотведения и другие воды, отведение (сброс) которых в водные объекты осуществляется после их использования или сток которых осуществляется с водосборной площади.

В соответствии с СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий», для питьевой воды нормируются показатели качества: микробиологические, паразитологические, органолептические, обобщенные показатели, органические и неорганические вещества, радиологические показатели.

Санитарно-химический анализ сточной воды предполагает определение более 20 показателей, среди которых прозрачность, сухой остаток, плотный остаток, величина pH, СПАВ (синтетические поверхностно-активные вещества), аммонийный азот, нефть и нефтепродукты, тяжелые металлы, фосфаты,

формальдегид, фенол, взвешенные вещества, ХПК (химическое потребление кислорода), БПК (биохимическое потребление кислорода).

С целью удаления из сточных вод взвешенных и растворенных органических и неорганических соединений до концентраций, не превышающих регламентированные, проводят их очистку [11].

Классификация методов очистки сточных вод представлена на рисунке 2.

Механическая очистка сточных вод производится путем фильтрования воды через слой пористого материала или сетки с подходящим размером отверстий, а также отстаивания, что позволяет очистить ее от крупнодисперсных примесей (под действием силы тяжести или центробежной силы).

Химическая очистка сточных вод предусматривает нейтрализацию (с использованием нейтрализующих агентов, таких как сода, аммиак, известь, мраморная крошка, щелочная зола) или окисление (с помощью окислителей — хлора, диоксида хлора, кислорода, гипохлорита натрия или кальция).

К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся флотация и флокуляция / коагуляция.

Флотация — это перенос загрязняющих веществ на поверхность воды с помощью пузырьков воздуха (для насыщения воды газом используются турбины, форсунки, пористые пластины, электролиз). Затем всплывшие в виде пенных образований примеси удаляются специальными скребками.

Флокуляция / коагуляция — взаимодействие загрязняющих веществ (коллоидных и мелкодисперсных частиц) с высокомолекулярными (флокуляция) либо минеральными (коагуляция) соединениями [4; 10].

Наиболее часто используемые коагулянты: соли алюминия (III) и железа (III); целлюлоза, крахмал; активированный уголь; полиакрилы, полиамины [11].

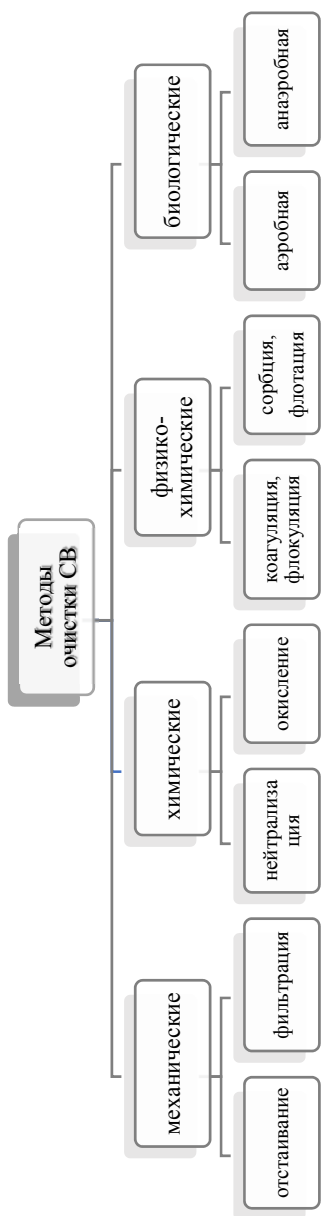


Рис. 2. Классификация методов очистки сточных вод

Муниципальные и промышленные сточные воды обычно очищаются методами биологической очистки, основанными на способности микроорганизмов метаболизировать органические и неорганические соединения, содержащиеся в сточных водах. Биологическая очистка сточных вод может реализовываться в аэробном (в аэротенках) и анаэробном (в метантенках) режиме [12]. Микроорганизмы, используемые для аэробной очистки сточных вод, относятся к родам *Bacillus*, *Aeromonas*, *Actinomyces*, *Brevibacterium*, *Nocardia*, *Sarcina*, *Pseudomonas* и др. В анаэробной очистке сточных вод используют микроорганизмы родов *Clostridium*, *Bacillus*, *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Micrococcus*, *Methanococcus*, *Methanospirillum*, *Methanogenium* и др.

Наиболее распространен способ биологической аэробной очистки с использованием активного ила, хотя существуют и альтернативные процессы, такие как биопленочные системы или гранулированные системы [19]. Активный ил представляет собой сложную экосистему, состоящую в основном из гетеротрофных бактерий (более 90 %) и простейших. Эти бактерии способны образовывать хлопья, которые могут быть удалены из очищенных сточных вод путем фильтрации или простого осаждения. Микроорганизмы, присутствующие в активном иле, могут действовать в анаэробных, аноксических или аэробных условиях [18].

Неотъемлемой частью биологической очистки сточных вод является разделение твердой и жидкой фаз, при котором очищенная вода отделяется от активного ила. В традиционном процессе с использованием активного ила это делается с помощью отстойников, но существует альтернатива: мембранные биореакторы, где вместо отстойника используется мембрана [37]. В результате этого процесса образуются очищенные сточные воды (отработанная вода), возвратный ил и избыточный ил.

3.3. Задание для практического занятия.

1. Используя любую доступную литературу (статьи, патенты на русском и английском языке, диссертации), а также сайты коллекций микроорганизмов (например, ВКПМ — Всероссийскую коллекцию промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт», <https://vkpm.genetika.ru/katalog-mikroorganizmov/>), составить перечень микроорганизмов — деструкторов загрязняющих воду веществ (ксенобиотиков): углеводов, фенола, нефти и нефтепродуктов, ПАВ. Для микроорганизмов указать группу, к которой они относятся (бактерии, грибы, дрожжи, актиномицеты), род, вид, номер штамма в коллекции (если есть). Дать ссылки на используемую литературу.

Информацию представить в виде таблицы (пример оформления приведен в таблице 4).

Таблица 4

Микроорганизмы — деструкторы ксенобиотиков, загрязняющих воду

Группа ксенобиотиков	Род и вид МО	Группа МО	Коллекция МО	Номер штамма в коллекции
Углеводы	<i>Rhodococcus qingshengii</i>	Актиномицеты	ВКПМ	АС-1023
Фенол	<i>Rhodococcus sp.</i>	Актиномицеты	ВКПМ	АС-1192
Нефтепродукты	<i>Rhodococcus sp.</i>	Актиномицеты	ВКПМ	АС-1261
ПАВ				

2. Ознакомиться с содержанием документа СанПиН 2.1.3684-21. Оформить таблицу, содержащую информацию об

органолептических, микробиологических, паразитологических, обобщенных, радиологических показателях, о неорганических и органических веществах (10—20 веществ), нормируемых для питьевой воды, с указанием нормативов (ПДК), показателя вредности и класса опасности.

Информацию представить в виде таблицы (пример оформления приведен в таблице 5).

Таблица 5

**Показатели, нормируемые для питьевой воды
в соответствии с СанПиН 2.1.3684-21**

Группа показателей	Наименование показателя	ПДК, мг/л	Показатель вредности	Класс опасности
Органические вещества	Циклогексан	0,02	с.-т.	2
	Бензол	0,01	с.-т.	2
	Стирол	0,1	орг. зап.	3
Неорганические вещества	Алюминий (Al^{3+})	0,5	с.-т.	2
	Медь (Cu, суммарно)	1,0	орг.	3
	Нитраты (по NO_3^-)	45,0	с.-т.	3
Микробиологические показатели				

Примечание. с.-т. — санитарно-токсикологический; орг. зап. — изменяет запах воды; орг. — органолептический.

3.4. Контрольные вопросы.

1. Опишите классификацию сточных вод по источнику выделения.
2. Назовите основные показатели качества питьевой воды в соответствии с СанПиН 2.1.3684-21.
3. Дайте определения биохимического (БПК) и химического (ХПК) потребления кислорода.
4. Приведите примеры методов механической, химической и физико-химической очистки сточных вод.

5. Назовите особенности биологической очистки сточных вод.

6. Что представляют собой биологические пруды, поля орошения и фильтрации?

7. Опишите стадии аэробной очистки сточных вод.

8. Дайте определение активного ила. Какие живые организмы входят в его состав?

9. Опишите стадии анаэробной очистки сточных вод.

10. Дайте определения биогаза и метаногенеза.

Практическая работа № 4
БИОРАЗЛАГАЕМЫЕ ПОЛИМЕРЫ.
МИКРООРГАНИЗМЫ — ДЕСТРУКТОРЫ
СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

4.1. Цель практической работы: сформировать умения и навыки подбора штаммов микроорганизмов (бактерий, микроскопических грибов) — деструкторов синтетических полимеров; ознакомиться с нормативной документацией по методам испытаний полимерных материалов на способность к аэробному и анаэробному разложению.

4.2. Теоретический материал.

Тароупаковочная индустрия активно развивается в настоящее время. Упаковка позволяет сократить потери продукции, гарантировать ее качество, увеличить сроки ее хранения, обеспечить доставку потребителю. В настоящее время годовое потребление упаковки на душу населения составляет в США 300—350 долл., в Европе — 400 долл., в Японии — 455 долл. По ряду макроэкономических показателей упаковка входит в число важнейших отраслей экономики некоторых стран. По данным Всемирной ассоциации упаковщиков, объем производства упаковки в мире составляет около 500 млрд долл. Большая доля в объеме всей производимой упаковки приходится на синтетические полимеры.

К основным недостаткам использования синтетических полимерных материалов относятся:

- длительный период разложения в окружающей среде (80—600 лет) с образованием токсичных компонентов;
- негативное влияние компонентов полимерной упаковки (например, бисфенола А) на здоровье;
- ограниченные запасы нефти — основного сырья для производства полимеров.

Прогнозируется, что к 2050 г. в мире (в различных экосистемах) будет накоплено 26 млрд тонн отходов синтетических полимеров.

Альтернативным решением является использование биоразлагаемых синтетических полимеров.

Биоразлагаемые (биodeградируемые) материалы — это класс полимеров, которые образуются в результате жизнедеятельности растений, животных или в процессе биосинтеза в клетках живых организмов, которые могут разрушаться в естественных условиях под воздействием таких природных факторов, как свет, температура, влага, а также при участии микроорганизмов.

Биоразлагаемые полимерные материалы нашли применение в различных отраслях: пищевой промышленности (упаковка, съедобные покрытия), медицине (шовный материал, оболочки таблеток), легкой промышленности (соломка для напитков, одноразовая посуда), сельском хозяйстве (мульчирующая пленка) [5—7].

Основными компонентами биоразлагаемых пленок и покрытий являются полисахариды (крахмал, альгинаты, каррагинаны, агар, пектин, целлюлоза и ее производные, хитозан), белки (глютен, зеин, соевый белок, желатин), липиды и различные добавки.

На скорость разложения биodeградируемых материалов в объектах окружающей среды оказывают влияние, как было отмечено выше, различные факторы: температура, влажность воздуха, свет, состав микробной популяции, молекулярная масса полимеров и др.

К биоразлагаемым пленкам и покрытиям для пищевой промышленности предъявляются следующие требования: во-первых, безопасность и низкая токсичность; во-вторых, высокие барьерные свойства в отношении паров, газов, растворенных веществ; в-третьих, нетрудоемкая технология производства; в-четвертых, возможность функционализации (внесения биоактивных молекул) [5; 7; 9].

Для оценки биоразлагаемости веществ и полимеров в России, как правило, используются международные методики систем стандартизации ISO и OECD, переведенные на русский язык и представленные в качестве ГОСТа: ISO 9408 (ГОСТ Р ИСО 9408-2016), ISO 10634 (ГОСТ Р ИСО 10634-2016), ISO 9439 (ГОСТ Р ИСО 9439-2016), ISO 9887 (ГОСТ Р ИСО 7827-2016), ISO 9888 (ГОСТ Р 56989-2016), ISO 11733 (ГОСТ Р 32537-2013), ISO 14593 (ГОСТ 32433-2013), ISO 14855 (ГОСТ Р 57219-2016), ISO 14855-1:2012 (ГОСТ Р 57224-2016), ISO 16929 (ГОСТ Р 57226-2016), ISO 20200 (ГОСТ Р 57225-2016), ISO 17556 (ГОСТ ISO 17556-2025), ISO 14853, ISO 11734. В данных документах используются понятия аэробного (компостирование) и анаэробного (биогазификация) разложения.

ГОСТ Р ИСО 9408-2016 устанавливает метод оценки способности органических соединений и сточных вод к полному биологическому разложению в водной среде при заданной концентрации аэробных микроорганизмов путем определения потребности кислорода в закрытом респирометре.

ГОСТ Р ИСО 10634-2016 устанавливает четыре способа для приготовления плохо растворимых в воде органических соединений и введения их в испытательных сосудах для последующего испытания биоразлагаемости в водной среде стандартными методами.

ГОСТ Р ИСО 9439-2016 устанавливает метод, который путем измерения количества выделенного диоксида углерода дает оценку конечного биологического расщепления аэробными микроорганизмами органических соединений при данной концентрации в водной среде.

ГОСТ Р 57219-2016 устанавливает метод определения полного аэробного биоразложения пластмасс в контролируемых условиях компостирования путем гравиметрического измерения количества выделяющегося диоксида углерода.

ГОСТ Р 57225-2016 устанавливает метод определения степени разложения пластмасс при воздействии компостной среды при испытаниях в лабораторных условиях.

Среди всех методов экспресс-методом оценки степени биоразложения является метод Штурма (ГОСТ 32433-2013), основанный на измерении образования CO_2 под действием микроорганизмов.

Сущность данного метода состоит в том, что исследуемое вещество в качестве единственного источника углерода и энергии инкубируют в буферной минеральной среде, которая была инокулирована смешанной популяцией микроорганизмов. Испытания проводят в закупоренных бутылках со свободным пространством для воздуха, которое обеспечивает запас кислорода для аэробного биоразложения.

Количество CO_2 , полученное в результате полного аэробного биоразложения исследуемого вещества, определяется путем измерения неорганического углерода, образованного в тестовом сосуде сверх того, что было получено в пустых контрольных сосудах, содержащих только инокулированную среду. Степень биоразложения выражают в виде процента от теоретического максимума образования неорганического углерода, исходя из количества исследуемого вещества, добавленного первоначально.

В качестве референтных материалов в методике используются анилин, бензоат натрия, этиленгликоль (для растворимых в воде испытуемых веществ) и 1-октанол (для нерастворимых веществ). В качестве посевной культуры (инокулята) применяют активный ил, вторичные сточные воды, поверхностные воды, почву. Биоразложение стандартных веществ должно составить 60 % от теоретического количества неорганического углерода.

Аэробное разложение (компостирование) — биологическое разложение органических веществ какого-либо материала с потреблением свободного кислорода или воздуха в процессе жизнедеятельности микроорганизмов. Процесс аэробного разложения осуществляется в аэротенках, окситенках и др. Продуктами аэробного разложения являются биогенные вещества — нитраты, фосфаты, вода.

Анаэробное разложение (биогазификация) — биологическое разложение органических веществ какого-либо материала при отсутствии потребления свободного кислорода или воздуха в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, способных выживать за счет выделения энергии из глюкозы или других питательных веществ в отсутствие кислорода. Основными продуктами распада являются диоксид углерода, метан и большое число микробных клеток.

4.3. Задание для практического занятия.

1. Используя любую доступную литературу (статьи, патенты на русском и английском языке, диссертации), а также сайты коллекций микроорганизмов, например ВКПМ (<https://vkpm.genetika.ru/katalog-mikroorganizmov/>), составить перечень микроорганизмов — деструкторов компонентов синтетических полимеров. Для микроорганизмов указать группу, к которой они относятся (бактерии, грибы, дрожжи, актиномицеты), род, вид, номер штамма в коллекции (если есть). Дать ссылки на используемую литературу.

Информацию представить в виде таблицы (пример оформления приведен в таблице 6).

Таблица 6

Микроорганизмы — деструкторы компонентов синтетических полимеров

Группа полимеров	Род и вид МО	Группа МО	Коллекция МО	Номер штамма в коллекции
Асфальт	<i>Pseudonocardia autotrophica</i>	Актиномицеты	ВКПМ	АС-917
...				

2. Изучить нормативную документацию по определению степени биоразложения материалов: ГОСТ 32433-2013, ГОСТ Р 57219-2016, ГОСТ Р 57225-2016, ГОСТ Р 57226-2016.

Сопоставить методы определения степени разложения пластмасс, описанные в ГОСТ Р 57225-2016 и ГОСТ Р 57226-2016. Отметить, в чем сходства и различия данных методов.

Из ГОСТ 32433-2013 и ГОСТ Р ИСО 14855-2-2024 выписать в тетрадь определения терминов: биоразлагаемое вещество, теоретическое выделение углекислого газа, растворенный органический углерод, легко разлагаемое вещество, десятидневный интервал, полная биоразлагаемость, минерализация, лаг-фаза, фаза разложения, плато-фаза, компост, компостирование, летучие твердые вещества, предварительная выдержка, предварительная обработка.

4.4. Контрольные вопросы.

1. Дайте определение биоразлагаемого полимера.
2. На какие группы классифицируются биоразлагаемые полимеры в зависимости от используемого для их производства сырья?
3. Назовите факторы, оказывающие влияние на скорость деструкции биоразлагаемых полимеров.
4. Назовите требования, предъявляемые к биоразлагаемым пленкам и покрытиям, используемым в пищевой промышленности.
5. Назовите основные полисахариды, используемые для получения биоразлагаемых полимеров.
6. Какие нормативные документы регламентируют методы оценки биоразлагаемости полимеров?
7. Опишите сущность аэробного и анаэробного разложения полимеров.
8. Опишите кратко сущность метода Штурма.
9. Каковы преимущества использования биоразлагаемых полимеров перед синтетическими?
10. Приведите примеры видов микроорганизмов — деструкторов синтетических полимеров.

Практическая работа № 5

МЕТОДЫ БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ

5.1. Цель практической работы: сформировать умения и навыки по выбору биологических методов рекультивации почв, загрязненных определенными поллютантами, а также по подбору штаммов микроорганизмов — деструкторов загрязняющих веществ или продуцентов фитогормонов и экзополисахаридов.

5.2. Теоретический материал.

В соответствии с постановлением Правительства РФ «О проведении рекультивации и консервации земель» от 10.07.2018 г., рекультивация (ремедиация) — это мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почвы, восстановления плодородного слоя почвы и создания защитных лесных насаждений.

Согласно ГОСТ Р 57446-2017 «НДТ. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков. Восстановление биологического разнообразия», различают технический и биологический этапы рекультивации почв. Технический этап проводится с целью формирования структуры почвы, необходимой для произрастания культур, используемых на биологическом этапе рекультивации, и включает в себя планировку и землевание. Биологический этап необходим для возобновления процесса почвообразования, повышения самоочищающей способности почвы и воспроизводства биоценозов.

Все известные методы ремедиации почв классифицируются на 3 группы:

1) физические — вспомогательные меры на начальных этапах рекультивации;

2) химические — химическое преобразование загрязнителей в нетоксичные соединения;

3) биологические — использование растений, микроорганизмов, грибов.

Кроме того, различают два подхода к очистке загрязненных почв и грунтов: 1) очищение почв на месте (*in situ*), 2) очищение почв на специальных предприятиях (*ex situ*) [17].

Физические методы ремедиации.

Среди физических методов ремедиации выделяют 5 основных групп методов (рис. 3).

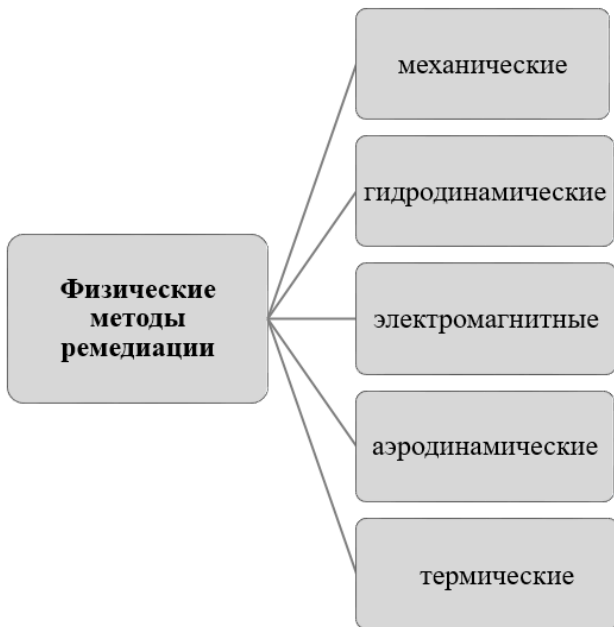


Рис. 3. Классификация физических методов ремедиации почв

К *механическим* методам ремедиации относятся дробление, сортировка, брикетирование, вспашка, взрыв.

Гидродинамические методы предусматривают промывание слоя грунта водой. Метод применим только в случае загрязнения верхних слоев почвы и может быть реализован в таких формах, как промывка, вымывание солей, фильтрация, растворение.

Аэродинамические методы, к которым относятся вакуумная очистка, продувка, газовая нейтрализация, применяются при загрязнении грунтов токсичными газами или жидкостями (например, нефтепродуктами, летучими углеводородами, хлорсодержащими соединениями).

В группе *термических* методов выделяют термическую деградацию, витрификацию (переход жидкости при понижении температуры в стеклообразное состояние), термическую локализацию. Преимущества термических методов рекультивации состоят в практически 100%-ном удалении органических загрязнителей, а также уменьшении объема отходов в 5—10 раз. Используя термические методы ремедиации, можно очищать почвы от таких поллютантов, как ртуть, бензол, нефтепродукты, хлорсодержащие соединения [16].

Электромагнитные методы рекультивации включают магнитную деструкцию, ультразвуковую деструкцию, ультрафиолетовую очистку, СВЧ-экранирование, обработку рентгеновским излучением.

Химические методы ремедиации.

К химическим методам рекультивации относятся экранирование, иммобилизация, стабилизация, экстракция, окислительно-восстановительная ремедиация (ОВР), электрохимическая обработка.

Стабилизация (реагентная нейтрализация) — метод, основанный на интоксикации поллютанта и переводе его в безопасную форму по отношению к окружающей среде. Исследуемый стабилизирующий реактив вносят в загрязненные почвы на глубину до 5 м, вследствие чего происходит связывание и инкапсуляция поллютантов.

Метод *химической экстракции* основан на извлечении загрязняющих веществ специально подобранными реактивами путем перехода из твердой нерастворимой фазы в жидкую растворимую.

Электрохимическая деструкция загрязненных почв основана на использовании постоянного электрического тока в электрохимическом реакторе.

Биологические методы ремедиации.

Все биологические методы ремедиации подразделяются на 2 группы (рис. 4).



Рис. 4. Классификация биологических методов ремедиации почв

Под *компостированием* понимают обогащение загрязненных почв компостом — неочищенным органическим отходом, повышающем естественные процессы сбраживания.

Естественные процессы затухания основаны на природных процессах почв, которые способствуют снижению массы и концентрации поллютантов без вмешательства посторонних факторов. Включают аэробное и анаэробное разложение загрязняющих веществ. Данную группу методов целесообразно использовать применительно к таким поллютантам, как нефтяные углеводороды (бензол, этилбензол, толуол, ксилол).

Биостимуляция — один из подходов биоремедиации, основанный на стимулировании активности аборигенной микрофлоры, естественно содержащейся в посттехногенных ландшафтах (обогащение питательными веществами — N, P, C, K). Метод применим к следующим поллютантам: дихлордифенилтрихлорэтан, полициклические ароматические углеводороды, инсектициды, линдан.

Биоаугментация предполагает введение в почву селективно приспособленных природных штаммов или генетически измененных микроорганизмов, способных оперативно справиться с простыми и/или сложными загрязняющими веществами. Результативна по отношению к нефтепродуктам, пестицидам, тяжелым металлам, ПАУ, линдану. Перспективными биодеструкторами считаются *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Brucella*, *Burkholderia*, *Catellibacterium*, *Pichia*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Stenotrophomonas*, *Streptomyces*, *Verticillum*.

Фиторемедиация — это биотехнология, использующая естественную способность различных видов растений удалять или уменьшать загрязнение почвы.

Биоконцентрирование — накопление вещества-загрязнителя в локальной зоне путем адсорбции или иммобилизации биообъектами.

Биовыщелачивание — избирательное извлечение микроорганизмами (бактериями или грибами) химических элементов из многокомпонентных соединений посредством их растворения в водной среде. Благодаря биовыщелачиванию осуществляют извлечение ценных компонентов (например, меди, урана и др.) или вредных примесей (таких как мышьяк в рудах черных и цветных металлов) из руд и отходов производства [2; 6].

Методы ремедиации *ex situ* включают изъятие и удаление загрязненной почвы или твердых отходов либо для обработки на месте, либо для транспортировки в подходящее место.

Биоремедиация *ex situ* в суспензионных биореакторах — один из наиболее эффективных вариантов очистки от органических загрязнителей. Загрязненная почва взвешивается в водно-питательном растворе в присутствии местных или экзогенных бактерий, тщательно перемешивается и аэрируется.

Суспензионные биореакторы обеспечивают эффективную деградацию загрязняющих веществ в силу ряда причин:

- жидкость в суспензии облегчает контакт между загрязнителями почвы и модификаторами и усиливает явление массопереноса поллютантов, увеличивая биодоступность загрязнителя;

- токсичность органических загрязнителей может быть уменьшена путем добавления воды (за счет эффекта разбавления);

- параметры (например, pH, температура и окислительно-восстановительные условия) легче контролировать и оптимизировать;

- можно использовать различные акцепторы электронов и растворители или ПАВ для повышения биодоступности загрязнителя [17].

Технологии фиторемедиации.

Фиторемедиация в настоящее время находит широкое применение, несмотря на то что для этого метода характерны свои недостатки:

- 1) медленный процесс;

- 2) наличие стрессоров (колебания температуры, питательных веществ, осадков, травоядность, патогены растений и конкуренция со стороны сорняков), влияющих на фиторемедиацию в полях.

К фиторемедиационным методам относятся фитофiltrация, фитоаккумуляция, фитостабилизация, фитоволатилизация, фитостимуляция, фитодеградация (фитотрансформация).

Фитофилтрация (ризофилтрация) — способ удаления загрязняющих веществ из почвы и воды с использованием корней растений для поглощения и концентрирования поллютантов.

Фитоаккумуляирование (фитоэкстракция) — способ ремедиации почв, основанный на поглощении растениями веществ из почвы и их переносе в другие части растений (побеги, листья).

Фитоволатизация (фитоиспарение) — поглощение растениями загрязняющих веществ (например, летучих органических соединений — трихлорметана, тетрахлорметана, тяжелых металлов (Hg, Se, As), которые могут трансформироваться в газообразные формы) и их выделение в воздух в виде соединений с низкой реакционной способностью (транспирация).

Фитостабилизация (фитоиммобилизация) — перевод химических соединений в корневой зоне определенных видов растений в менее подвижную и активную форму, что предотвращает миграцию загрязняющих веществ в почве.

Фитодеградация (фитотрансформация) — поглощение и последующее расщепление органических загрязнителей (особенно ПАУ и пестицидов) до менее токсичных компонентов растениями (внутри растительных тканей или ризосферы) посредством ферментативных процессов.

Фитостимуляция — стимуляция растениями развития симбиотических микроорганизмов, принимающих участие в процессе очистки [20; 36].

Большинство растений не способны запасать микроэлементы выше необходимых потребностей их метаболизма. Исключение составляют растения-гипераккумуляторы, которые могут поглощать и концентрировать в надземных органах токсичные ионы металлов в больших количествах.

Ключевое значение растения-гипераккумуляторы металлов имеют для фитоэкстракции и фитомайнинга — разновидности технологии фитоаккумуляции, позволяющей извлекать из субстрата (в частности отвалов горнодобывающей промышленности) экономически ценные металлы [13; 15]. Некоторые растения-гипераккумуляторы приведены в таблице 7.

Растения — гипераккумуляторы тяжелых металлов [36]

Растение	Механизм	Целевые загрязняющие вещества	Примечание
<i>Brassica juncea</i> (горчица сарептская)	Фитоэкстракция	Pb, Cd, Cr	Вид устойчив к высоким концентрациям металлов, быстрорастущий и эффективный для крупномасштабных проектов по рекультивации почв
<i>Helianthus annuus</i> (подсолнух)	Фитоэкстракция	Pb, Cd, Ni	Быстрорастущее растение с высокой биомассой и сильной способностью к поглощению тяжелых металлов; адаптируется к различным почвенным условиям и повышает эффективность ремедиации
<i>Vetiveria zizanioides</i> (ветиверовая трава)	Фитостабилизация	Cd, Zn, Pb	Растение с глубокой корневой системой и высокой биомассой, которое стабилизирует загрязненные почвы, предотвращает эрозию и иммобилизует тяжелые металлы, что делает его высокоэффективным для долгосрочной рекультивации почвы
<i>Eichhornia crassipes</i> (водяной гиацинт)	Ризофильтрация	Pb, Cd, Hg, Ni	Плавающее водное растение с быстрым ростом и разветвленной корневой системой, высокоэффективно поглощающее из воды и накапливающее тяжелые металлы, что делает его идеальным для очистки сточных вод и загрязненных водоемов

<i>Phragmites australis</i> (тростник обыкновенный)	Ризофилтрация / фитостабилизация	Тяжелые металлы	Многолетнее болотное растение с густой корневой системой, эффективно стабилизирующее почвы и удаляющее тяжелые металлы и избыток питательных веществ из заболоченных участков, улучшающее качество почвы и воды на загрязненных территориях
<i>Thlaspi caerulescens</i> (яруточка сизоватая)	Фитозекстракция	Cd, Zn	Гипераккумулятор с исключительной способностью поглощать и переносить высокие уровни цинка и кадмия; небольшой, быстрорастущий и высокоэффективный для удаления металлов из загрязненных почв даже при низких концентрациях
<i>Salix</i> spp. (ива)	Фитозекстракция / фитостабилизация	Pb, Zn, Cu	Быстрорастущее древесное растение с разветвленной корневой системой, способное как извлекать, так и стабилизировать тяжелые металлы; устойчиво к загрязненным почвам и подходит для крупномасштабных проектов по рекультивации почв
<i>Populus</i> spp. (тополь)	Фитозекстракция	Cu, Zn, Cd	Быстрорастущее дерево с глубокими корнями и высокой биомассой, эффективно извлекающее тяжелые металлы; адаптируется к различным типам почв и широко используется для крупномасштабной фиторемедиации и восстановления экосистем

Некоторые культуры растений, используемые для рекультивации почв в нашей стране, приведены в таблице 8.

Таблица 8

Культуры растений, используемые для рекультивации почв

Виды деревьев и кустарников	Наименование культуры
Хвойные породы	Лиственница сибирская (<i>Larix sibirica</i> Ledeb.); ель сибирская (<i>Picea obovata</i> Ledeb.); сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.); кедр сибирский (<i>Pinus sibirica</i> Du Tour), пихта сибирская (<i>Abies sibirica</i> Ledeb.)
Лиственные породы	Береза повислая (<i>Betula pendula</i> Roth); тополь лавролистный (<i>Populus laurifolia</i> Ledeb.); тополь бальзамический (<i>Populus balsamifera</i> L.); вяз перистоветвистый (<i>Ulmus pumila</i> L.); ясень пенсильванский (<i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marshall); лох узколистный (<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.)
Кустарники	Облепиха крушиновидная (<i>Hippophae rhamnoides</i> L.); лох серебристый (<i>Elaeagnus commutata</i> Bernh. ex Rydb.); карагана древовидная (<i>Caragana arborescens</i> Lam.); бузина сибирская (<i>Sambucus sibirica</i> Nakai); рябина сибирская (<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.); черемуха обыкновенная (<i>Padus avium</i> Mill.); жимолость татарская (<i>Lonicera tatarica</i> L.); смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i> Pursh); вишня песчаная (<i>Cerasus besseyi</i> (L. H. Bailey) Smyth); кизильник черноплодный (<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt)

Для усиления эффекта могут быть использованы симбиотические микроорганизмы растений, которые делятся на 2 группы:

1. Ризобактерии (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Chromobacterium*, *Azotobacter*). Обеспечивают устойчивость растений к абиотическим стрессам за счет синтеза экзополисахаридов, цитокининов, антиоксидантов, фитогормонов.

2. Арбускулярные микоризные грибы (AMF). Характеризуются проникновением гиф гриба в межклеточные пространства растения либо внутрь клеток, наличием арбускул (густо ветвящихся гиф, непосредственно участвующих в обмене веществ) и внекорневых гиф, на которых образуются споры; служат для захвата и доставки к растению различных питательных элементов (P, K, N). Основные представители — грибы *Gigaspora* и *Scutellospora*.

5.3. Задание для практического занятия.

1) Используя любую доступную литературу (статьи, патенты на русском и английском языке, диссертации), а также сайты коллекций микроорганизмов (например, <https://vkpm.genetika.ru/katalog-mikroorganizmov/>), составить перечень микроорганизмов — продуцентов фитогормонов, экзополисахаридов, которые потенциально могут быть использованы для создания биопрепаратов, стимулирующих рост растений. Для микроорганизмов указать группу, к которой они относятся (бактерии, грибы, дрожжи, актиномицеты), род, вид, номер штамма в коллекции (если есть). Сделать ссылки на используемую литературу.

Информацию представить в виде таблицы (пример оформления приведен в таблице 9).

Таблица 9

Микроорганизмы — продуценты фитогормонов, экзополисахаридов

Продуцируемое БАВ	Род и вид МО	Группа МО	Коллекция МО	Номер штамма в коллекции
Фитогормоны	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Дрожжи	ВКПМ	У-4317
Экзополисахариды	<i>Azospirillum brasilense</i>	Бактерии	ВКПМ	В-11094
...				

2. Используя базу данных ФИПС (<https://www.fips.ru/>), найти известные технические решения в области получения биопрепаратов для агропромышленного комплекса. Информацию представить в виде таблицы (пример оформления приведен в таблице 10).

Таблица 10

Известные технические решения в области получения биопрепаратов для агропромышленного комплекса

Сведения о патенте	Микроорганизмы в составе биопрепарата	Статус
Патент №2552938 РФ. Биопрепарат для повышения продуктивности сельскохозяйственной продукции и способ получения биопрепарата для повышения продуктивности сельскохозяйственной продукции / П. А. Шаблин, О. А. Лягушина, В. А. Филоненко; заявитель и патентообладатель ООО «ЭМ-кооперация». — 2013130747/13; заявл. 05.07.2013; опубл. 10.06.2015. — Бюл. № 16.	<i>Lactobacillus casei</i> (ВКПМ, В-11360), <i>Lactococcus lactis</i> (ВКПМ, В-11341), <i>Rhodopseudomonas palustris</i> (ВКПМ, В-11340), <i>Sacharomyces cerevisiae</i> (ВКПМ, Y-3964)	Не действует
...		

5.4. Контрольные вопросы.

1. Дайте определение ремедиации (рекультивации) почв.
2. Какие группы методов рекультивации вы знаете?
3. Опишите физические методы рекультивации почв.
4. Опишите химические методы рекультивации почв.
5. Опишите классификацию биологических методов ремедиации почв.

6. В чем отличие методов очищения почв *in situ* от методов *ex situ*?

7. Сформулируйте определение фиторемедиации.

8. На какие методы классифицируется фиторемедиация?

9. Назовите культуры растений, используемые для ремедиации почв в РФ.

10. Назовите основные растения — гипераккумуляторы тяжелых металлов.

Практическая работа № 6

БИОТОПЛИВО: ПОНЯТИЕ, ВИДЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ

6.1. Цель практической работы: сформировать умения и навыки по выбору сырья для производства твердого, жидкого и газообразного биотоплива.

6.2. Теоретический материал.

Биоэнергетика — это современное направление науки и отрасли производства, изучающее и использующее механизмы и закономерности преобразования энергии в процессах жизнедеятельности организмов, энергетические процессы в биосфере, а также процессы, связанные с образованием биомассы и ее использованием для получения энергии в промышленных целях.

Термин «биотопливо» относится к жидкому или газообразному топливу для транспортного сектора, которое преимущественно производится из биомассы [21].

Биомасса представляется привлекательным сырьем для производства топлива по трем основным причинам. Во-первых, это возобновляемый ресурс, который может быть устойчиво освоен в будущем. Во-вторых, биомасса обладает положительными экологическими свойствами, что приводит к отсутствию чистых выбросов углекислого газа (CO_2) и очень низкому содержанию серы. В-третьих, биомасса имеет значительный экономический потенциал при условии, что цены на ископаемое топливо вырастут в будущем [21]. По оценкам, к 2050 г. биомасса будет составлять от 15 до 50 % мирового потребления первичной энергии [34].

В РФ технологической платформой «Биоэнергетика» в соответствии со стратегической программой исследований под-

готовлена дорожная карта на 2019—2030 гг. «Биоэнергетика в Российской Федерации». Приоритетными направлениями деятельности ТП «Биоэнергетика» являются [3]:

- биомасса, ресурсная база и логистика;
- получение тепловой и электрической энергии из биомассы;
- глубокая переработка биомассы, биорефайнинг;
- моторные биотоплива;
- биогазовые технологии;
- использование биомассы для производства различных видов твердого биотоплива;
- энергетическая утилизация отходов (сжигание, газификация, пиролиз);
- биоэлектрохимические технологии: электробиосинтез, биотопливные элементы и технологии;
- автономные системы энергообеспечения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ): энергобиотехнологические комплексы, биоэнергетические деревни, «умные сети»;
- биоремедиация в ТЭК;
- биоэнергетическое машиностроение и инжиниринг;
- торфяная биоэнергетика;
- новые технологические сегменты и природоподобные технологии на основе междисциплинарных исследований.

Классификация биотоплива по агрегатному состоянию приведена на рисунке 5.

6.2.1. Жидкое биотопливо.

На сегодняшний день биоэтанол, биодизель и биобутанол производятся из различных источников, таких как лигноцеллюлоза, крахмалистая и водорослевая биомасса [44]. Согласно исследованию [22], эти устойчивые и природные возобновляемые виды сырья в изобилии встречаются в природе, а их ежегодное мировое производство составляет приблизительно 200 млрд тонн.



Рис. 5. Классификация биотоплива по агрегатному состоянию

Известно, что в начале XX в. в качестве сырья для производства биоэтанола и биодизеля использовались биомасса на основе сахара или крахмала (зерновые, сахарный тростник, соя и отходы пищевой промышленности) и растительные масла (пальмовое, соевое и подсолнечное масла) [41]. Это сырье первого поколения уже доказало свою эффективность в производстве биотоплива путем прямой ферментации с механической предварительной обработкой и периодической термической обработкой. Однако высокая стоимость данного сырья может напрямую повлиять на поставки продовольствия, что делает его использование для производства биотоплива нецелесообразным [28].

С учетом недостатков, связанных с использованием сырья первого поколения, в последние десятилетия проводились масштабные исследования по производству жидкого биотоплива с использованием сырья второго поколения, полученного из сельскохозяйственных, лесных и твердых бытовых отходов [27]. Сырье второго поколения, в отличие от сырья первого поколения, производится из непищевых источников. К его преимуществам можно отнести возобновляемость, высокое содержание углеводов, доступность, низкую стоимость и углеродную нейтральность [44].

Этанол — наиболее широко используемое жидкое биотопливо. Это спирт, получаемый путем ферментации сахаров, крахмала или целлюлозной биомассы. Большая часть промышленного производства этанола осуществляется из сахарного тростника или сахарной свеклы, поскольку крахмал и целлюлозная биомасса обычно требуют дорогостоящей предварительной обработки [21]. Процесс производства биоэтанола можно разделить на несколько этапов: 1) подготовка сырья, его последующая предварительная обработка и гидролиз или сахарификация с использованием микробных ферментов (бактериальных и грибковых); 2) процесс ферментации с применением различных микроорганизмов, таких как бактерии, грибы и дрожжи; 3) дистилляция и дегидратация [26; 32].

Для производства биодизеля используется процесс переэтерификации растительных масел или животных жиров. Биодизельное топливо может быть получено из сои (содержит жирные кислоты: олеиновую, пальмитиновую, линолевую, линоленовую и стеариновую), подсолнечника, плодов пальмы и яatroфы (семена содержат 27—40 % масла). Также может производиться из маслянистых микроорганизмов, включая водоросли, цианобактерии, бактерии и дрожжи. Такие виды дрожжей, как *Cryptococcus albidus*, *Lipomyces lipofer*, *Lipomyces starkeyi*, *Rhodospiridium toruloides*, *Rhodotorula glutinis*, *Trichosporon pullulan* и *Yarrowia lipolytica*, способны продуцировать липиды [25; 32].

Лигноцеллюлозная биомасса.

Основной состав лигноцеллюлозной биомассы включает целлюлозу, гемицеллюлозу, лигнин и неорганические вещества (белок, крахмал, жир, витамины, минералы и золу) [33; 45]. Все эти компоненты гидролизуются до мономеров в результате физических, химических и биологических процессов [40]. Мономеры, образующиеся в вышеупомянутом процессе, ферментируются микроорганизмами для получения жидкого биотоплива. К лигноцеллюлозным ресурсам первого поколения относятся пшеничная солома, стебли кукурузы, биомасса масличной пальмы, рисовая солома и жом сахарного тростника [42]. Лигноцеллюлозное сырье для производства биотоплива второго поколения включает пшеничную солому, рисовую солому, какао-бобы, кукурузную солому, кожуру ананаса и др. [30; 43]. Под биотопливом третьего поколения обычно понимают топливо, получаемое с использованием микроводорослей и других микроорганизмов [23]. Метаболическая инженерия с использованием постгеномных технологий на микроводорослях позволяет получать биотопливо четвертого поколения [24].

Крахмальная биомасса.

Крахмалсодержащее сырье обладает рядом уникальных преимуществ для производства биотоплива. Это сырье недорогое, легкодоступное и легко гидролизующееся до сбраживаемых сахаров с помощью разбавленных кислот или ферментативного осахаривания. Отходы, образующиеся в результате агропромышленной деятельности, также могут стать важным источником крахмалистой биомассы, имеющей высокое содержание углеводов и белка. Использование крахмалистых отходов для производства биотоплива снижает себестоимость производства, делая биотопливо более доступным и дешевым [44]. В качестве крахмалсодержащего сырья для производства биотоплива используются кукуруза, рис, сорго, маниока, сладкий картофель. По оценкам, ежегодно собирается 2,7 млрд тонн этих культур, которые доступны для использования [48].

Биомасса водорослей.

Альтернативные источники энергии, получаемые из водорослей и микроводорослей, обладают рядом существенных преимуществ: возобновляемость, высокая энергетическая ценность и низкая стоимость [44]. Водоросли характеризуются высоким содержанием углеводов (до 70 %) и липидов (до 60 %), которые могут быть преобразованы в биотопливо. Несколько видов водорослей, таких как *Botryococcus braunii*, *Chaetoceros calcitrans*, *Schizochytrium limacinum*, *Isochrysis galbana*, *Nannochloropsis*, *Scenedesmus* и виды *Chlorella*, были исследованы для производства биотоплива [44].

6.2.2. Твердое биотопливо.

К твердому биотопливу относятся топливная древесина (дрова), древесная щепа, опилки (в виде топливных брикетов и пеллет), древесный уголь, сельскохозяйственные и промышленные отходы [35].

Древесина для топлива составляет примерно две трети мирового потребления биоэнергии (около 33,5 ЭДж), в основном в виде традиционного отопления и приготовления пищи [31].

Древесная щепа для энергетических целей производится в основном из отходов лесозаготовок / лесопереработки (ветки, верхушки деревьев, прореживание, кора и т. д.), из другой древесины низкого качества, непригодной для производства материалов или целлюлозы и бумаги, а также из вторично переработанной древесины [35].

Из опилок и сельскохозяйственных отходов могут быть получены топливные брикеты или гранулы (пеллеты). Топливные брикеты — это высушенные и брикетированные энергоносители биологического происхождения (например, навоз, опилки, щепа, лузга, шелуха, солома). Древесные топливные гранулы (пеллеты) представляют собой результат прессования древесных отходов и отходов АПК [13].

Древесный уголь, помимо традиционного отопления и приготовления пищи, находит применение в химической промышленности (в качестве активированного угля) и в металлургической промышленности (в качестве восстановителя и источника энергии) [35].

6.2.3. Газообразное биотопливо.

Биоводород.

Производство биоводорода осуществляется с использованием различных групп микроорганизмов: Actinobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes и др. [32]. Штаммы, участвующие в этом процессе, включают *Rhodobium marinum*, *Rhodopseudomonas palustris*, *Rhodobacter capsulatus*, *Rhodobacter sphaeroides*, *Rhodopseudomonas faecalis*.

Ферментами, участвующими в производстве биоводорода, являются гидрогеназы или нитрогеназы. Зеленые водоросли наиболее эффективны для производства биоводорода различными способами. Известны два процесса производства биоводорода: светозависимый и светонезависимый. Светозависимые процессы производства водорода включают прямой или непрямой биофотолиз, осуществляемый различными видами водорослей, и фотоферментацию, осуществляемую различными группами бактерий, такими как пурпурные несерные бактерии. В темновой ферментации важную роль в производстве биоводорода играют гетеротрофные органотрофные микроорганизмы [32].

Биометан.

Производство биометана включает четыре основных этапа: гидролиз, ацидогенез, ацетогенез / дегидрирование и метаногенез [32]. Эффективность гидролиза зависит от молекулярной структуры используемого субстрата, которым обычно выступают углеводы, белки, липиды и лигноцеллюлозные структуры. В процессе гидролиза бактерии, такие как *Bacteriocides*,

Clostridia и *Bifidobacteria*, превращают сложные биополимеры (углеводы, белки и липиды) в растворимые органические молекулы (сахара, аминокислоты и жирные кислоты). На следующих этапах, а именно в процессе ацидогенеза и ацетогенеза, водород, диоксид углерода и ацетат образуются из растворимых органических молекул с использованием различных ферментативных бактерий. На заключительном этапе (метаногенез) образуются метан и диоксид углерода с использованием метаногенных бактерий. Этап метаногенеза завершается строго анаэробными археями, называемыми метаногенами, такими как *Methanosarcina barkeri*, *Metanococcus mazei* и *Methanosaeta concilii* [32].

6.2.4. Нормативная база.

Показатели качества биотоплива регламентируются нормативными документами РФ:

- ГОСТ 33103.1-2017. Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 1. Общие требования;

- ГОСТ 33872-2016. Биоэтанол топливный денатурированный. Технические условия;

- ГОСТ 33131-2014. Смеси биодизельного топлива (B6—B20). Технические требования;

- ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003). Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования.

Также регламентацию осуществляют на основе международных стандартов:

- EN ISO 17225. Solid biofuels — Fuel specifications and classes — Part 1: General requirements;

- EN 15234. Solid biofuels — Fuel quality assurance;

- EN ISO 16559. Solid biofuels — Vocabulary.

6.3. Задание для практического занятия.

1. Изучить нормативную документацию на твердое биотопливо: ГОСТ 33103.1-2017, ГОСТ 33103.2-2017, ГОСТ 33103.3-2017. Выписать в тетрадь виды древесной, травянистой, плодовой биомассы, а также биомассы водных растений, которая может быть использована для производства твердого биотоплива.

2. Сформулировать определение древесной пеллеты и древесного брикета. Выписать требования к техническим характеристикам древесных пеллет и брикетов.

3. Изучить нормативную документацию на жидкое биотопливо: ГОСТ 33872-2016, ГОСТ 33131-2014, ГОСТ Р 53605-2009. Описать сходства и различия между абсолютированным и обводненным биоэтанолом. Выписать в тетрадь требования к смесям биодизельного топлива В6—В20.

4. Используя любую доступную литературу (статьи, патенты на русском и английском языке, диссертации), найти разработки по получению биотоплива из растительной / водорослевой биомассы. Информацию представить в виде таблицы (пример оформления приведен в таблице 11, см. на с. 57).

6.4. Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте определение биоэнергетики и биотоплива.

2. Назовите приоритетные направления деятельности ТП «Биоэнергетика».

3. Приведите примеры твердых, жидких и газообразных видов биотоплива.

4. Какие виды растений характерны для энергетических лесов?

Известные технические решения в области получения биотоплива

Наименование разработки	Источник, выходные данные	Суть разработки
Биотопливо из макроводорослей	Патент №2787537 РФ. Способ получения биотоплива из макроводорослей / Ю.В. Куликова, С.А. Сухих, О.О. Бабич, Ю.М. Маргина; заявитель и патентообладатель БФУ им. И. Канта. — №2022124903; заявл. 21.09.2022; опубл. 10.01.2023. — Бюл. №1.	Способ получения биотоплива из макроводорослей, предусматривающий стадию гидротермального ожижения в реакторе периодического действия смеси водорослей с морским мусором и неорганическими примесями, без применения катализаторов
Штамм для конверсии углекислоты в сырье для производства биотоплива	Патент №2555520 РФ. Штамм макроводоросли <i>Desmodesmus</i> sp. для конверсии углекислоты из промышленных сбросных газов в сырье для производства биотоплива и кормовых добавок / Е.С. Лобакова, О.А. Горелова, О.И. Баулина, А.Е. Соловченко, М.П. Кирпичников; заявитель и патентообладатель МГУ им. М.В. Ломоносова. — №2013137676/10; заявл. 12.08.2013; опубл. 10.07.2015. — Бюл. №19.	Патент описывает штамм макроводоросли <i>Desmodesmus</i> sp., характеризующийся высокой толерантностью к высоким концентрациям CO ₂ в среде культивирования, а также высокой способностью к накоплению липидов, обогащенных ПНЖК
...		

5. В чем отличие топливных брикетов от топливных пеллет?
6. Опишите растительное сырье, используемое для получения биометанола, биоэтанола, биобутанола, диметилового эфира и биодизеля.
7. Опишите состав биогаза.
8. Какие способы получения биоводорода вам известны?
9. На какие виды классифицируется биотопливо по поколениям?
10. Как вы понимаете термин «зеленая энергия»?

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ

АПК	— агропромышленный комплекс
БАВ	— биологически активные вещества
БПК	— биохимическое потребление кислорода
ВИЭ	— возобновляемые источники энергии
МО	— микроорганизмы
ОВ	— окислительно-восстановительный
ОТД	— острое токсическое действие
ПАВ	— поверхностно-активные вещества
ПДК	— предельно допустимая концентрация
СВ	— сточные воды
СВЧ	— сверхвысокая частота
СПАВ	— синтетические поверхностно-активные вещества
ТП	— технологическая платформа
ТЭК	— топливно-энергетический комплекс
ХПК	— химическое потребление кислорода
ХТД	— хроническое токсическое действие
АМГ	— арбускулярные микоризные грибы
рН	— водородный показатель

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Биомониторинг* состояния окружающей среды : учеб. пособие / И. С. Белюченко, Е. В. Федоненко, А. В. Смагина [и др.]. Краснодар : КубГАУ, 2014. 153 с.
2. *Биоэнергетика* в Российской Федерации: дорожная карта на 2019—2030 годы / подгот. ТП «Биоэнергетика» в соответствии со Стратегической программой исследований. М., 2019. 28 с.
3. *Бурова Т. Е., Иванченко О. Б.* Экологическая биотехнология : учеб. пособие. М. : ГИОРД, 2018. 172 с.
4. *Горькова И. В.* Биотехнологии биополимеров : учеб. пособие для подготовки бакалавров направления подготовки 19.03.01 Биотехнология / И. В. Горькова, И. Н. Гагарина, И. А. Гнеушева [и др.]. Орёл : Орловский государственный аграрный университет имени Н. В. Парахина, 2023. 177 с.
5. *Жукова А. А., Мاستицкий С. Э.* Биоиндикация качества природной среды : пособие. Минск : БГУ, 2014. 112 с.
6. *Информационно-поисковая система ФИПС* : [сайт]. URL: <https://www.fips.ru/>.
7. *Каталог микроорганизмов ВКПМ* : [сайт]. URL: <https://vkpm.genetika.ru/katalog-mikroorganizmov/>.
8. *Келль Л. С.* Экологическая биотехнология. М. : Лань, 2022. 232 с.
9. *Кузнецов А. Е., Градова Н. Б.* Научные основы экобиотехнологии : учеб. пособие для студ. М. : Мир, 2006. 504 с.
10. *Ленивко С. М.* Экологическая биотехнология : электрон. учеб.-метод. комплекс для студ. специальности 1-33 01 01 Биоэкология. Брест : БрГУ, 2020. 144 с.
11. *Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat* : [сайт]. URL: <https://www.dissercat.com/>.
12. *Поисковая система по научным публикациям Академия Google* : [сайт]. URL: <https://scholar.google.ru/>.
13. *Пучкова Т. А.* Биотехнология очистки промышленных отходов : учеб. пособие / Т. А. Пучкова. Минск : БГУ, 2018. 175 с.
14. *Экологическая биотехнология* : учеб. пособие для вузов по направлению «Биология» и смежным направлениям / Т. Г. Волова, Е. Н. Афанасова, Е. С. Задереев [и др.]. Красноярск : Б. и., 2014. 290 с.
15. *World Data Centre for Microorganisms* : [сайт]. URL: <https://www.wdcm.org/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астафьева О.Е., Авраменко А.А., Питрюк А.В.* Основы природопользования : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт, 2026. 376 с.
2. *Биомониторинг* состояния окружающей среды : учеб. пособие / И.С. Белюченко, Е.В. Федоненко, А.В. Смагина [и др.]. Краснодар : КубГАУ, 2014. 153 с.
3. *Биоэнергетика* в Российской Федерации: дорожная карта на 2019—2030 годы / подгот. ТП «Биоэнергетика» в соответствии со Стратегической программой исследований. М., 2019. 28 с.
4. *Бурова Т.Е., Иванченко О.Б.* Экологическая биотехнология : учеб. пособие. М. : ГИОРД, 2018. 172 с.
5. *Васильева Н.Г.* Биоразлагаемые полимеры / Н.Г. Васильева // Вестник Казанского технол. ун-та. 2013. Т. 16, №22. С. 156—157.
6. *Волова Т.Г.* Биотехнология: монография. Новосибирск : Изд-во Сибирского отделения РАН, 1999. 252 с.
7. *Волова Т.Г., Шишацкая Е.И.* Биотехнология новых полимерных материалов: синтез, свойства, применение // Очерки экологической биофизики : юбилейный сборник к 75-летию акад. И.И. Гительсона. Новосибирск : Изд-во Сибирского отделения РАН, 2003. С. 106—119.
8. *Жукова А.А., Мاستицкий С.Э.* Биоиндикация качества природной среды : пособие. Минск : БГУ, 2014. 112 с.
9. *Закирова А.Ш., Канарская З.А., Михайлова О.С., Василенко С.В.* Биодegradируемые пленочные материалы : в 2 ч. Ч. 2: Биодegradируемые пленочные материалы на основе природных, искусственных и химически модифицированных полимеров // Вестник Казанского технологического университета. 2014. №10. С. 114—121.
10. *Кель Л.С.* Экологическая биотехнология. М. : Лань, 2022. 232 с.
11. *Коротченко И.С.* Биоремедиация : учеб. пособие. Красноярск : КрасГАУ, 2020. 246 с.
12. *Кузнецов А.Е., Градова Н.Б.* Научные основы экобиотехнологии : учеб. пособие для студ. М. : Мир, 2006. 504 с.
13. *Ленивко С.М.* Экологическая биотехнология : электрон. учеб.-метод. комплекс для студ. специальности 1-33 01 01 Биоэкология. Брест : БрГУ, 2020. 144 с.

14. *Полещук М.И., Куликова В.В.* Определение эффекта суммации загрязняющих веществ // Международный студенческий научный вестник. 2018. №6. URL: <https://eduherald.ru/ru/article/view?id=19319> (дата обращения: 15.04.2026).

15. *Прикладная экобиотехнология* : учеб. пособие : в 2 т. Т. 1 / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова, С.В. Лушников [и др.]. М. : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2010. 629 с.

16. *Ручай Н.С., Остроух О.В.* Промышленная биотехнология : электрон. курс лекций для студентов специальности 1-48 02 01 «Биотехнология». Минск : БГТУ, 2013. 109 с.

17. *Экологическая биотехнология* : учеб. пособие для вузов по направлению «Биология» и смежным направлениям / Т.Г. Волова, Е.Н. Афанасова, Е.С. Задереев [и др.]. Красноярск : Б.и., 2014. 290 с.

18. *Asses N., Ayed L.* Physicochemical and biological treatment of textile wastewater // *The Future of Effluent Treatment Plants* / ed. by M. Shah, S. Rodriguez-Couto, K. Mehta. Elsevier, 2021. P. 307—334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822956-9.00018-0>.

19. *Christensen M.L., Keiding K., Nielsen P.H., Jørgensen M.K.* De-watering in biological wastewater treatment: A review // *Water Research*. 2015. Vol. 82. P. 14—24. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.019>.

20. *Cristaldi A., Conti G.O., Jho E.H. et al.* Phytoremediation of contaminated soils by heavy metals and PAHs. A brief review // *Environmental Technology & Innovation*. 2017. Vol. 8. P. 309—326. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.08.002>.

21. *Demirbas A.* Progress and recent trends in biofuels // *Progress in Energy and Combustion Science*. 2007. Vol. 33, iss. 1. P. 1—18. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.06.001>.

22. *Domanski J., Borowski S., Marchut-Mikolajczyk O., Kubacki P.* Pretreatment of rye straw with aqueous ammonia for conversion to fermentable sugars as a potential substrates in biotechnological processes // *Biomass Bioenergy*. 2016. Vol. 91. P. 91—97. doi: 10.1016/j.biombioe.2016.05.008.

23. *Dragone G., Fernandes B.D., Vicente A.A., Teixeira J.A.* Third generation biofuels from microalgae // *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*. 2010. Vol. 2. P. 1355—1366.

24. *Dutta K., Davey A., Lin J.G.* Evolution retrospective for alternative fuels: first to fourth generation // *Renewable Energy*. 2014. Vol. 69. P. 114—122. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.044>.

25. *Fu R., Fei Q., Shang L. et al.* Enhanced microbial lipid production by *Cryptococcus albidus* in the high-cell-density continuous cultivation with membrane cell recycling and two-stage nutrient limitation // *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 2018. Vol. 45. P. 1045—1051. doi: 10.1007/s10295-018-2081-x.
26. *Ho S.H., Huang S.W., Chen C.Y. et al.* Bioethanol production using carbohydrate-rich microalgae biomass as feedstock // *Bioresource Technology*. 2013. Vol. 135. P. 191—198. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.015>.
27. *Ibrahim M.F., Kim S.W., Abd-Aziz S.* Advanced bioprocessing strategies for biobutanol production from biomass // *Renew Sustain Energy Rev*. 2018. Vol. 91. P. 1192—1204. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.060.
28. *Ibrahim M.F., Ramli N., Kamal Bahrin E., Abd-Aziz S.* Cellulosic biobutanol by Clostridia: Challenges and improvements // *Renew Sustain Energy Rev*. 2017. Vol. 79. P. 1241—1254. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.184.
29. *Ikeda S., Oikawa M., Sekine Y.* Biomonitoring of indoor particle contamination by detection of bioluminescence reduction of marine bacterium *Vibrio fischeri* // 2009 ICCAS-SICE. 2009, Fukuoka, Japan. P. 4486—4489. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009sice.conf..937I/abstract> (дата обращения: 15.04.2026).
30. *Jang Y.S., Lee S.Y.* Recent advances in biobutanol production // *Industrial Biotechnology*. 2015. Vol. 11. P. 316—321. doi: 10.1089/ind.2015.0023.
31. *Johnson F., Tella P., Israilava A. et al.* What woodfuels can do to mitigate climate change. FAO Forestry Paper // Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2010. URL: <http://www.fao.org/docrep/013/i1756e/i1756e00.pdf> (дата обращения: 15.04.2026).
32. *Kour D., Lata Rana K., Yadav N., Yadav A.N.* Technologies for biofuel production: current development, challenges, and future prospects // *Prospects of renewable bioprocessing in future energy systems. biofuel and biorefinery technologies* // ed. by A. A. Rastegari, A. N. Yadav, A. Gupta. Vol. 10. Springer, 2019 https://doi.org/10.1007/978-3-030-14463-0_1.
33. *Kumar P., Barrett D.M., Delwiche M.J., Stroeve P.* Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production // *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2009. Vol. 48. P. 3713—3729. doi: 10.1021/ie801542g.
34. *Kumar A., Kumar K., Kaushik N. et al.* Renewable energy in India: current status and future potentials // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. Vol. 14. P. 2434—2442. doi: 10.1016/j.rser.2010.04.003.

35. Lamers P., Junginger M., Hamelinck C., Faaij A. Developments in international solid biofuel trade — An analysis of volumes, policies, and market factors // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. Vol. 16, iss. 5. P. 3176—3199. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.027>.
36. Lee Y.-Y., Cho K.-S., Yun J. Phytoremediation strategies for co-contaminated soils: Overcoming challenges, enhancing efficiency, and exploring future advancements and innovations // Processes. 2025. Vol. 13, iss. 1. <https://doi.org/10.3390/pr13010132>.
37. Lindrea K. C., Seviour R. J. Activated sludge-the process // Encyclopedia of Environmental Microbiology / ed. by G. Bitton. Wiley, 2002.
38. Mahmud M. N., Kafit A. A., Sharmin S. et al. Phytoremediation of contaminated soils: Current trends and future prospects // Earth Critical Zone. 2026. Vol. 3, iss. 1, Art. №100072. <https://doi.org/10.1016/j.ecz.2026.100072>.
39. Nagata S., Zhou X. Analyses of factors to affect the bioassay system using luminescent bacterium *Vibrio fischeri* // Journal of Health Science. 2006. Vol. 52, iss. 1. P. 9—16. <https://doi.org/10.1248/jhs.52.9>.
40. Purohit P., Dhar S. Lignocellulosic biofuels in India: Current perspectives, potential issues and future prospects // AIMS Energy. 2018. Vol. 6. P. 453—486. doi: 10.3934/energy.2018.3.453.
41. Roussos A., Misailidis N., Koulouris A. et al. A feasibility study of cellulosic isobutanol production-process simulation and economic analysis // Processes. 2019. Vol. 7, iss. 10. doi: 10.3390/pr7100667.
42. Sandesh K., Amin S., Kiran H. T., Rao Vaman C. Optimization of pretreatment of *Saccharum spontaneum* (Kans Grass) bio1mass for production of alcoholic biofuels // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2017. Vol. 8. P. 117—126.
43. Sandesh K., Shishir R. K., Rao Vaman C. Optimization and comparison of induction heating and LPG assisted acid pretreatment of cocoa pod for ABE fermentation // Fuel. 2020. Vol. 262. Art. №116499. doi: 10.1016/j.fuel.2019.116499.
44. Sandesh K., Ujwal P. Trends and perspectives of liquid biofuel — Process and industrial viability // Energy Conversion and Management: X. 2021. Vol. 10, Art. №100075. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100075>.
45. Taherzadeh M. J., Karimi K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production: A review // International Journal of Molecular Sciences. 2008. Vol. 9. P. 1621—1651. doi: 10.3390/ijms9091621.

46. *Terekhova V.A.* Biotesting of soil ecotoxicity in case of chemical contamination: modern approaches to integration for environmental assessment (a review) // *Eurasian Soil Science*. 2022. Vol. 55. P. 601—612. <https://doi.org/10.1134/S106422932205009X>.

47. *Terekhova V.A., Kulachkova S.A., Morachevskaya E.V., Kiryushina A.P.* A soil biodiagnostics methodology and features of some bioindication and biotesting methods (review) // *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2023. Vol. 78. P. 102—111. <https://doi.org/10.3103/S0147687423020102>.

48. *Vendruscolo F.* Starch: a potential substrate for biohydrogen production // *International Journal of Energy Research*. 2015. Vol. 39. P. 293—302. doi: 10.1002/er.3224.

Учебное издание

Дышлок Любовь Сергеевна
Куликова Юлия Владимировна
Сухих Станислав Алексеевич
Бабич Ольга Олеговна

ЭКОБИОТЕХНОЛОГИЯ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Учебно-методическое пособие

Редактор *Д. А. Малеваная*
Компьютерная верстка *Г. И. Винокуровой*

Подписано в печать 13.07.2026 г.
Дата выхода в свет 30.07.2026 г.
Формат 60×90 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 4,1
Тираж 300 экз. (1-й завод 31 экз.). Заказ 60

Издательство Балтийского федерального университета им. И. Канта
236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14