

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



УТВЕРЖДАЮ
Декан ИЛП

УТВЕРЖДАЮ /М.Н. Волдаев/
(Ф.И.О. декана (директора института))

24.12.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ФТД.2.2 Биодegradация и биоремедиация в лесных экосистемах

(код и наименование дисциплины по учебному плану)

Направление подготовки
(специальность)

35.04.01 Лесное дело

Квалификация выпускника

Магистр

(бакалавр/магистр/специалист)

Программа магистратуры

Биотехнологии воспроизводства, использования и защиты
лесных ресурсов

Курс 1
Семестр 2

Распределение учебного времени

Трудоемкость по учебному плану	108 / 3	часов/зачетных единиц
Лекции	16	часов
Лабораторные работы	-	часов
Практические занятия	32	часов
Иная контактная работа	-	часов
Всего контактной работы (без учета экз.)	48	часов
Контактная работа по экзамену	-	часов
Курсовой проект (работа)	-	семестр
Самостоятельная работа обучающихся (без учета экз.)	60	часов
Самостоятельная работа по подготовке к экзамену	-	часов
Экзамен	-	семестр
Зачет	2	семестр
БРК, ДЗ	-	семестр

(год)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО направления подготовки (специальности) 35.04.01 Лесное дело

Программу составили:

доцент	ЛКСиБТ	СОГЛАСОВАНО	Н.А. Иванова
(должность)	(кафедра)		(И.О. Фамилия)

РАССМОТРЕНА и ОДОБРЕНА на заседании кафедры, за которой закреплена дисциплина
Кафедра лесных культур, селекции и биотехнологии

(наименование кафедры)		
22.12.2025	протокол №	7
(дата)		
Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Д.И. Мухортов
		(И.О. Фамилия)

Рабочая программа СОГЛАСОВАНА с факультетом (институтом), выпускающей(ими) кафедрой(ами).

СООТВЕТСТВУЕТ действующей ОП.

Заведующий кафедрой	СОГЛАСОВАНО	Д.И. Мухортов
		(И.О. Фамилия)

Председатель методической комиссии факультета (института), в который входит выпускающая кафедра

СОГЛАСОВАНО	Д.И. Мухортов
	(И.О. Фамилия)

Эксперт(ы): Самосудов Андрей Евгеньевич, директор Филиала Федерального бюджетного учреждения "Российский центр защиты леса" "Центр защиты леса Республики Марий Эл"

Рабочая программа проверена и зарегистрирована в УМЦ 28.01.2026 г.

Специалист учебно-методического центра СОГЛАСОВАНО /Т.А. Смирнова/

Раздел 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является достижение планируемых результатов обучения, соответствующих установленным в ОПОП индикаторам достижения компетенций:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
1. ПК-4 Способен осуществлять комплекс мероприятий по воспроизводству, защите и использованию лесных ресурсов	ИПК-4.1. Знает современные технические, технологические и биотехнологические методы, направленные на повышение эффективности воспроизводства, селекции и защиты лесных ресурсов;	знания: Знает современные технические, технологические и биотехнологические методы, направленные на повышение эффективности воспроизводства, селекции и защиты лесных ресурсов; умения: навыки:
	ИПК-4.2. Умеет разрабатывать технологические схемы и биотехнологические приемы для решения задач воспроизводства, защиты и рационального использования лесных ресурсов;	знания: умения: Умеет разрабатывать технологические схемы и биотехнологические приемы для решения задач воспроизводства, защиты и рационального использования лесных ресурсов; навыки:
	ИПК-4.3. Владеет навыками оценки биологических, экологических и экономических рисков, организации и осуществления мероприятий по воспроизводству, защите и использованию лесных ресурсов с применением биотехнологических подходов.	знания: умения: навыки: Владеет навыками оценки биологических, экологических и экономических рисков, организации и осуществления мероприятий по воспроизводству, защите и использованию лесных ресурсов с применением биотехнологических подходов.

Раздел 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к элективным дисциплинам (модулям) ОПОП.

Дисциплина является факультативной

Для продолжения формирования заявленных компетенций необходимы знания предшествующих дисциплин: Микробиологические технологии в лесовосстановлении и

защите леса (ПК-4), Биотехнологии воспроизводства лесных ресурсов (ПК-4), Биотехнологические методы выращивания посадочного материала (ПК-4), Биотехнологии рекультивации и фитомелиорации нарушенных земель (ПК-4)

Изучаемая дисциплина является основой для продолжения формирования указанных компетенций в следующих дисциплинах: Биотехнологические методы переработки органических отходов лесного хозяйства (ПК-4), Биорефайнинг сырья растительного и животного происхождения (ПК-4); практиках: Преддипломная практика (ПК-4), Производственная практика. Технологическая (проектно-технологическая) практика (ПК-4); государственной итоговой аттестации в форме: Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (ПК-4)

Раздел 3. ОПИСАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для формирования заявленных компетенций используются методологические технологии, реализующие деятельностный, личностно-ориентированный, практико-ориентированный подходы.

Основными стратегическими технологиями являются: лекционные занятия, практические занятия, процедуры самообучения

На достижение конкретных целей обучения направлены применяемые тактические технологии: задания, классическая лекция, мини-проекты, проблемная лекция

Раздел 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

2 семестр

Виды и темы занятий	Количество часов	Формируемые компетенции
Биодеградация и биоремедиация в лесных экосистемах	108	ПК-4
Лекция. Биодеградация: понятие, этапы, ключевые группы микроорганизмов. Роль ферментов в трансформации загрязнителей.	2	
Практическое занятие. Анализ литературных данных: составление таблицы основных загрязнителей леса (нефтепродукты, ПАУ, тяжёлые металлы) и известных деструкторов.	2	
Лекция. Структура и функции почвенного микробиома. Экологические ниши: ризосфера, подстилка, минеральный горизонт.	2	
Практическое занятие. Отбор и подготовка проб почвы для микробиологического анализа: стерильность, репрезентативность, документация.	4	
Практическое занятие. Микроскопический анализ почвенных препаратов: идентификация бактерий, грибов, актиномицетов.	4	
Лекция. Биоремедиация in situ и ex situ: сравнительный анализ. Биостимуляция и биоаугментация.	2	
Практическое занятие. Расчёт доз биопрепаратов: учёт концентрации загрязнителя, биомассы деструкторов, агрохимических показателей почвы.	4	
Лекция. Нефтепродукты в лесных почвах: пути поступления, токсичность, микробные пути деградации (аэробные/анаэробные).	2	
Лекция. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и тяжёлые металлы: механизмы устойчивости	2	

микроорганизмов, фитоэкстракция.		
Практическое занятие. Оценка фитотоксичности загрязнённой почвы до и после биоремедиации	4	
Лекция. Проект биоремедиации: обследование, проектирование, внедрение, мониторинг.	2	
Практическое занятие. Разработка проекта: выбор штаммов, расчёт затрат, график работ для участка с нефтезагрязнением.	4	
Лекция. Оценка соответствия проектов биоремедиации экологическим нормативам; подготовка отчётной документации.	2	
Лекция. Роль растений в биоремедиации: фитостабилизация, фитоэкстракция, ризодеградация.	2	
Практическое занятие. Подбор видов фиторемедиантов для лесных экосистем.	2	
Практическое занятие. Генетически модифицированные микроорганизмы (ГМО) в биоремедиации: возможности и риски. Биосенсоры для мониторинга загрязнения.	2	
Практическое занятие. Особенности восстановления экосистем после пожаров и рубок: микробные сообщества, сукцессии, барьеры для рекультивации.	4	
Практическое занятие. Экономические аспекты биоремедиации: расчёт затрат, окупаемости услуг. Интеграция в системы устойчивого лесопользования.	2	
Задания для самостоятельной работы, в том числе выполнение проработка конспекта лекций; проработка основной и дополнительной литературы; выполнение расчетно-графических работ.	60	
Иная контактная работа:	0	

Раздел 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины рекомендуется начать с ознакомления с рабочей программой, ее структурой и содержанием разделов. Учебный материал структурирован, изучение дисциплины осуществляется в тематической последовательности.

Занятия лекционного типа дают систематизированные знания по дисциплине, концентрируют внимание на наиболее сложных и важных вопросах. Во время лекционных занятий рекомендуется вести конспектирование учебного материала; обращать внимание на формулировки и категории, раскрывающие суть проблемы, явления или процесса; зафиксировать выводы и практические рекомендации. Подготовка к **занятиям семинарского типа** включает ознакомление с планом **практического** занятия; работу с конспектом лекций, выполнение домашнего задания, работу с учебной и учебно-методической литературой, научными изданиями и электронными образовательными ресурсами, рекомендованными рабочей программой дисциплины.

Содержание **самостоятельной работы** определяется рабочей программой дисциплины, оценочными и методическими материалами, заданиями и указаниями преподавателя. Самостоятельная работа может осуществляться в аудиторной и внеаудиторной формах. Эффективным средством осуществления самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к образовательной программе, рабочей программе дисциплины, к электронным библиотечным системам, профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

Периодичность проведения, формы текущего контроля успеваемости, система оценивания

хода освоения дисциплин представлены в рабочей программе. Формой промежуточной аттестации по дисциплине является **зачёт**.

Раздел 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебно-методическое обеспечение

№№ п/п	Список используемой литературы	Количество экземпляров печатных изданий, имеющих в библиотеке, или электронный адрес издания (ресурса) в сети Интернет
УЧЕБНЫЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ И НАУЧНЫЕ ИЗДАНИЯ		
1.	Биодegradация токсичных соединений и утилизация биомассы [Текст] : методические указания к выполнению практических работ по направлению для студентов направления подготовки 19.03.01 «Биотехнология» / М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО "Поволж. гос. технол. ун-т"; [сост.: О. В. Малюта, Д. Н. Шамшуrow, Д. И. Мухортов]. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. - 61 с. Экземпляры: всего 25.	25 / https://portal.volgatech.net/books/Maluta_biodegradacia_tiksichnix_soedinenii_utilizacia_biomassi_2016.pdf
2.	Нуреева, Татьяна Владимировна. Рекультивация нарушенных земель [Текст] : конспект лекций : [для студентов специальностей 250201.65, 250203.65, 020802.65, направления 250100.62] / Т. В. Нуреева, В. Г. Краснов, О. В. Малюта; М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО "Мар. гос. техн. ун-т". Йошкар-Ола: МарГТУ, 2012. - 207 с. ISBN 978-5-8158-0977-2. Экземпляры: всего 122.	122 / https://portal.volgatech.net/books/Nureeva.pdf
3.	Нуреева, Татьяна Владимировна. Повышение эффективности лесной рекультивации карьеров по добыче песка в Республике Марий Эл [Текст] : монография / Т. В. Нуреева, Н. А. Куклина ; [науч. ред. Л. П. Капелькина]; М-во образования и науки Рос. Федерации, ФГБОУ ВПО "Поволж. гос. технол. ун-т". Йошкар-Ола: ПГТУ, 2015. - 139 с. ISBN 978-5-8158-1584-4.	12 / https://portal.volgatech.net/books/Nureeva_Povyshenie_effektivnosti_lesnoj_2015.pdf
4.	Штерншис, М. В. Биологическая защита растений [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Штерншис М. В., Андреева И. В., Томилова О. Г.; Андреева И. В., Томилова О. Г. 7-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2024. - 332 с. ISBN 978-5-507-49266-4.	https://e.lanbook.com/book/384752
5.	Романов, Евгений Михайлович. Лесные культуры. Производство и применение нетрадиционных органических удобрений в лесных питомниках [Текст] : [учеб. пособие для студентов специальности 260400 "Лесное и лесопарковое хоз-во"] / Е. М. Романов, Т. В. Нуреева, Д. И. Мухортов. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. - 153 с. ISBN 5-8158-0094-5. Экземпляры: всего 167.	167
6.	Емцев, Всеволод Тихонович. Микробиология [Текст] : учебник для академического бакалавриата : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям и специальностям агрономического	14

	образования / В. Т. Емцев, Е. Н. Мишустин. 8-е изд., испр. и доп. Москва: Юрайт, 2019. - 427, [1] с. ISBN 978-5-534-06081-2. Экземпляры: всего 14.	
7.	Коростелева, Любовь Андреевна. Основы экологии микроорганизмов [Текст] : [учебное пособие для аспирантов и студентов вузов по экологическим и агрономическим специальностям] / Л. А. Коростелева, А. Г. Коцаев. Санкт-Петербург: Лань, 2013. - 239 с. ISBN 978-5-8114-1400-0. Экземпляры: всего 14.	14
8.	Криворотова, Татьяна Николаевна. Общая микробиология [Текст] : лабораторный практикум для бакалавриата направления 19.03.01 "Биотехнология" по дисциплине "Общая биология и микробиология" / Т. Н. Криворотова, Д. М. Пачунов, Н. А. Иванова; Поволжский государственный технологический университет. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2023. - 95 с. ISBN 978-5-8158-2364-8.	https://portal.volgatech.net/books/Krivorotova_Obshchaya_mikrobiologiya_2024.pdf
9.	Селекция растений и микроорганизмов [Текст] : методические указания к выполнению лабораторных работ : для студентов направления подготовки 19.03.01 "Биотехнология" / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Поволжский государственный технологический университет"; составители Е. В. Прохорова, Д. М. Пачунов, О. В. Шейкина. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2019. - 40 с. Экземпляры: всего 15.	15 / https://portal.volgatech.net/books/Prohorova_Selekziyai_rastenii_i_mikroorganizmov_2019.pdf
10.	Дмитренко, В. П. Экологические основы природопользования [Электронный ресурс] : учебное пособие / Дмитренко В. П., Мессинева Е. М., Фетисов А. Г. Санкт-Петербург: Лань, 2022. - 224 с. ISBN 978-5-8114-3401-5.	https://e.lanbook.com/book/206537

6.2. Материально-техническая база и программное обеспечение

№№ п/п	Аудитории для проведения учебных занятий, самостоятельной работы и проведения государственной итоговой аттестации	Перечень основного оборудования	Программное обеспечение
1.	229 (V)	Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных

			пользовательских задач
2.	230 (V)	Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
3.	343 (I)	Весы ВЛТЭ-500 с калибровочной гирей 500г F2 (1), Системный блок RAY P360.3 ,клав,мышь оптич, коврик+ монитор 19" ViewSonic VA916 (1), Установка для пробного проращивания семян типа "Якобсона" (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
4.	344 (I)	Стенды-планшет на пласт из 3-х ч (1), Телевизор цветной PANASONIC (1), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
5.	530 (I)	Альфа-радиометр радона аэрозольный РАА--3-01 Альфа ЭРО (1), Блендер Waring Commercial HGB550 (1), Весы HL- 2000 (1), Весы электронные (1), Дозиметр (1), Дозиметр гамма-излучения ДКГ	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web,

		-08А Скаут (1), Дозиметр МКС-АТ6130 (1), Измерительная кювета для радона ИК-63 (1), Комплекс Прогресс-навигатор (1), Монитор 19 LG Flatron L194 (1), Печь муфельная ПМ-10М (1), Плита нагревательная НР-LP 2 цифровая (62х31, 2200 Вт, 320 гр) (1), Поисковый дозиметр-радиометр МКС/СРП-08А (1), Прибор UMPS для СКС Спутник (1), Систем.блок ASUS CORE-E180/512mb*2/250Gb/DVD-ROM клав.мышь (1), Системный блок AMD Athlon /256Mb/80Gb/FDD1,44/DVD+RW кл ав.мышь, колонки, сетев.филь (1), Спектрометрический комплекс СКС-99 Спутник (1), Универ.спектрометр.комплекс "Гамм (1), Установка спектрометрическая Мультирад МКС-01А (1), Комплект учебной мебели (1)	Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
6.	355 (I)	Системный блок RAY P360.3 ,клав,мышь оптич, коврик+ монитор 19" ViewSonic VA916 (5), Комплект учебной мебели (1)	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО для решения основных пользовательских задач
7.	217 (V)	Весы Ohaus (1), Водяная баня (1), Вортекс персональный для пробирок (1), Документ-камера VideoLabs FlexCam (1), Ламинарный бокс "Ламинар-С" (2), Мешалка магнитная (2), ПК H404,2 420W/Intel Core i3 540/клав.,мышь,монит. 21,5" VA2248-LED (1), Платформа с клипсами для колб и стаканов (1), Стеллаж 800х400х2450 (1), Стерилизатор вертикальный электрический ВК-30 (1),	Microsoft Windows Enterprise, Справочная правовая система "Консультант Плюс", Microsoft Office Standard, Агент Dr.Web, Комплект ГАРАНТ-Мастер, Microsoft Access, Microsoft Visio Professional, Microsoft Project Professional, Microsoft Visual Studio Enterprise, Комплект ПО

	Стерилизатор воздушный медицинский ГП-40 МО (1), Стол (2), Стол на металлокаркасе 1500x600x750 (4), Термостат (2), Термостат "Гном" (1), Холодильник Vestel (2), Центрифуга для микропробирок (1), Шейкер-инкубатор (1), Шкаф для одежды ШО-2 (1), Шкаф для хранения ТШ-102 (2), Шкаф для хранения ТШ-103 (2), Комплект учебной мебели (1)	для решения основных пользовательских задач
--	--	---

Раздел 7. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ/ ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Критерии оценивания индикаторов достижения компетенций направлены на:

- усвоение теоретического материала (объем знаний, глубина усвоения), предусмотренного рабочей программой;
- умение излагать материал (четкость, грамотность изложения материала, точность и полнота воспроизведения учебного материала);
- умение применять теоретические знания при решении практических заданий.

Шкала оценивания представлена ниже.

Уровень сформированности элементов компетенции	Критерии оценивания	Шкала оценивания
Пороговый уровень	Обучающийся имеет знания основного материала, проявляет умение логично его излагать, но может допускать неточности в изложении материала, недостаточно правильные формулировки, испытывает затруднения в выполнении практических заданий	Зачтено

7.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины (модуля) и производится с применением технологии рейтингового контроля в соответствии с технологической картой дисциплины. Порядок составления технологической карты и алгоритм проведения процедуры оценивания видов деятельности обучающихся, направленных на освоение знаний, умений, навыков и/или опыта деятельности, по накопительной системе в баллах устанавливается положением о системе РИТМ в ФГБОУ ВО «ПГТУ»

7.2. Промежуточная аттестация обучающихся

Промежуточная аттестация обучающихся направлена на оценивание результатов обучения по дисциплине (модулю) и проводится с использованием фондов оценочных средств.

Примеры типовых контрольных заданий из базы фонда оценочных средств по образовательной программе.

1. Какие микроорганизмы чаще всего используются для биоремедиации почв, загрязнённых полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ)?

- а) вирусы;
- б) бактерии рода *Pseudomonas* и грибы рода *Phanerochaete*;
- в) археи?метаногены;
- г) цианобактерии.

2. Что означает термин «фитоэкстракция»?

- а) разложение загрязнителей корнями растений;
- б) поглощение и накопление тяжёлых металлов в надземной биомассе растений;
- в) выделение растениями ферментов в почву;
- г) стимуляция роста микроорганизмов ризосферой.

Перечень вопросов для проведения промежуточной аттестации

1. Что такое биodeградация? Охарактеризуйте её ключевые этапы и роль микроорганизмов в трансформации загрязнителей в лесных экосистемах.
2. В чём заключаются принципиальные различия между методами биоремедиации *in situ* и *ex situ*? Приведите примеры их применения в лесной практике.
3. Опишите основные механизмы микробной деградации нефтепродуктов в почве. Какие ферменты и генетические маркеры (*alkB*, *nahAc* и др.) используются для диагностики этого процесса?
4. Что представляют собой биостимуляция и биоаугментация? Сравните их, указав конкретные приёмы и условия эффективного применения для очистки лесных почв.
5. Раскройте суть фиторемедиации. Перечислите виды растений фиторемедиантов, пригодных для восстановления лесных территорий, загрязнённых тяжёлыми металлами, и объясните их механизмы действия.
6. Изложите последовательность этапов проектирования проекта биоремедиации загрязнённого лесного участка. Какие документы и критерии успеха обязательны на каждом этапе?
7. Каковы особенности микробных сообществ в различных экологических нишах лесной почвы (ризосфера, подстилка, минеральный горизонт)? В чём специфика их функций и взаимодействия с растениями?
8. Опишите влияние абиотических факторов (температура, влажность, pH, доступность питательных веществ) на эффективность биоремедиации. Как оптимизировать эти условия для ускорения деградации загрязнителей?
9. Что такое кометаболизм в контексте биodeградации токсичных веществ? Объясните его биологический смысл и приведите примеры процессов, где он играет ключевую роль.
10. Перечислите основные группы антропогенных загрязнителей лесных почв (нефтепродукты, ПАУ, тяжёлые металлы, пестициды). Для каждой группы укажите типичных микробных деструкторов и ключевые биохимические пути их действия.
11. В чём заключается роль гумуса и гуматов в процессах биоремедиации? Как они влияют на структуру почвы, активность микроорганизмов и доступность питательных веществ?