Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
факультет Почвоведения

УТВЕРЖДАЮ

и.о. декана П.В.Красильников /_____ /

«___» _____20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГУМУСООБРАЗОВАНИЯ

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки (специальность):

06.04.02 Почвоведение

Направленность (профиль) ОПОП:

_____Химия почв_____

Форма обучения: очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета почвоведения (протокол №_____, дата _____)

Москва 2021

На обратной стороне титула:

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 06.04.02 Почвоведение программы *магистратуры*.

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова от 30 декабря 2020 года № 1370.

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП:** вариативная, обязательная

2. **Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

Базовая часть.

Блок общекультурный

Английский язык

Блок общенаучный

Общая химия

Органическая химия

Физическая химия

Математическая статистика

Блок общепрофессиональный

Почвоведение

Химия почв

Биология почв

Вариативная часть.

Блок профессиональный.

Органическое вещество почв и глобальные изменения климата

Глинистые минералы в почвах

Сорбционные свойства почв

Химия гуминовых веществ

3. **Планируемые результаты обучения в результате освоения дисциплины, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников:**

Компетенции выпускников (коды)	**Индикаторы (показатели) достижения компетенций**	**Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями**
М-УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий, формулировать научно обоснованные гипотезы, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности	**М.УК-1.1.** Формулирует научно обоснованные гипотезы, создает теоретические модели явлений и процессов. **М.УК-1.2.** Разрабатывает и аргументирует стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарного подходов	***Знает:*** проблемы номенклатуры и генезиса гумусовых веществ, подходы к изучению их состава и свойств; теорию биохимических процессов разложения органических остатков, образования и трансформации гумусовых веществ, основы теории ферментативной кинетики и ферментативных процессов, протекающих в гомогенных и гетерогенных системах. *Умеет:* проводить поиск
М-УК-2. Способен использовать философские категории и концепции при решении социальных и	**М.УК-2.1.** Критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников;	

профессиональных задач;		научной информации в области изучения состава и свойств веществ гумуса, процессов их биотрансформации, роли оксидоредуктаз и целлюлолитических ферментов в гумификации, обладает способностью понимать, излагать и обобщать литературные данные в области биохимии гумусообразования, может делать расчеты в области ферментативной кинетики, делать необходимые выводы и формулировать предложения в соответствующей области знаний; на основе приобретенных навыков и компетенций может разрабатывать новые подходы к анализу взаимодействий в системе органическое вещество-фермент-минеральные компоненты почв. *Владеет:* современными научными представлениями о составе, структуре, механизмах образования гумусовых веществ, представлениями о кинетике ферментативных процессов, о роли окислительных ферментов и органо - минеральных взаимодействий в стабилизации органического вещества в почвах. *Имеет опыт деятельности*: поиска и критического анализа научной информации в области
М-УК-6. Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном языке (иностранных языках), для академического и профессионального взаимодействия.	**М. УК-6.1.** Представляет результаты своей научной деятельности в устной и письменной формах в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе.	
М-ОПК-10. Способен представлять результаты профессиональной деятельности в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе.	**М-ОПК-10.1.** Представляет результаты профессиональной деятельности в устной и письменной форме в соответствии с нормами и правилами, принятыми в профессиональном сообществе.	
М-ПК-1. Способен решать задачи научного исследования в области фундаментального и (или) прикладного почвоведения, обобщать полученные результаты в контексте ранее накопленных в науке знаний, формулировать выводы и рекомендации на основе репрезентативных и оригинальных результатов исследований, творчески использовать знания фундаментальных и (или) прикладных разделов специальных дисциплин;	**М-ПК-1.1.** Решает задачи научного исследования в области фундаментального и прикладного почвоведения, обобщает полученные результаты в контексте ранее накопленных в науке знаний, формулирует выводы и рекомендации на основе репрезентативных и оригинальных результатов исследований, творчески использует знания фундаментальных и прикладных разделов специальных дисциплин.	
М-ПК-5. Способен к комплексному анализу информации, подлежащей экспертизе, в области фундаментального и прикладного почвоведения.	**М-ПК-5.1.** Комплексно анализирует информацию, подлежащую экспертизе, в области фундаментального и прикладного почвоведения.	
М-СПК-4. Способность применять знания о трансформации	**М-СПК-4.1** Применяет знания о трансформации органического вещества в почвах естественных и	

органического вещества в почвах естественных и техногенных ландшафтов для прогноза изменения параметров глобального цикла углерода	техногенных ландшафтов **М-СПК-4.2** Способен прогнозировать изменения параметров глобального цикла углерода для научных и практических задач	биохимии гумуса; расчетов ферментативной кинетики на основе экспериментальных данных, представления данных в виде докладов и презентаций.

4. **Объем дисциплины** 108 з.е., в том числе 36 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 72 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

5. **Формат обучения** очный, с возможностью использования дистанционных образовательных технологий

6. **Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам, с указанием отведенного на них количества академических часов, и виды учебных занятий**:

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины / форма текущей аттестации	**Всего (часы)**	В том числе							
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)					**Самостоятельная работа обучающегося**		
		Занятия лекционного типа *9*	Занятия семинарского типа (семинары) *27*	Занятия семинарского типа (лабораторные) *0*	Занятия семинарского типа (практические) *0*	**Всего**	Подготовка докладов, рефератов	Анализ литературы	**Всего**
Раздел 1. Гумусовые вещества: их происхождение и предшественники									
Тема 1. Органическое вещество почв в цикле углерода	7	1	2			3		4	4
Тема 2. Гумусовые вещества: проблемы номенклатуры, терминологии и генезиса	11	1	2			3	4	4	8

Тема 3. Химический состав организмов - гумусообразователей	6		2			2		4	4
Тема 4. Низкомолекулярные фенольные соединения – предшественники гумусовых кислот	9	1	2			3	2	4	6
Тема 5. Лигнин и меланины как источники ароматического углерода в почвах	9	1	2			3	2	4	6
Форма текущей аттестации по разделу –	Контрольная работа, доклады								
Раздел 2. Ферменты									
Тема 1. Ферменты и ферментативный катализ	9	1	2			3	2	4	6
Тема 2. Основы ферментативной кинетики	8		2			2	2	4	6
Тема 3. Ферменты в почвах	8		2			2	2	4	6
Форма текущей аттестации по разделу –	Доклады, коллоквиум								

Раздел 3. Деградационные и конденсационные процессы при гумификации									
Тема 1. Внеклеточные гидролитические и окислительные ферменты микроорганизмов	10	1	3			4	2	4	6
Тема 2. Деструкция органических остатков, образование и трансформация гумусовых кислот.	9	1	2			3	2	4	6
Тема 3. Конденсационные процессы при гумификации. Гомогенный и гетерогенный биокатализ.	9	1	2			3	2	4	6
Тема 4. Абиотические каталитические реакции при гумификации	7	1	2			3		4	4
Тема 5. Гумификация в древней биосфере	6		2			2		4	4
Форма текущей аттестации по разделу –	Коллоквиум								

Промежуточная аттестация	*Зачет*		4
Итого:	108	36	72

Подробное содержание разделов и тем дисциплины:

Раздел 1. Гумусовые вещества: их происхождение и предшественники

Тема 1. Органическое вещество почв в цикле углерода

Биосферные функции ОВ почв. Понятия и термины глобального цикла углерода. Приходные и расходные статьи углеродного баланса. Биоклиматические особенности гумусонакопления. Запасы углерода в биомассе и почвах основных биомов суши. Органическое вещество почв и изменения климата.

Тема 2. Гумусовые вещества: проблемы номенклатуры, терминологии и генезиса

Проблемы номенклатуры веществ гумуса. Специфические и неспецифические соединения. Традиционные и новые взгляды на состав и происхождение веществ гумуса и пути стабилизации органического углерода в почвах.

Тема 3. Химический состав организмов-гумусообразователей

Макрокомпоненты растительных и микробных тканей. Ароматические и алифатические соединения. Полисахариды, белки, липиды, фенольные соединения. Строение, свойства, содержание в биомассе. Реакционная способность, устойчивость к биодеструкции.

Тема 4. Низкомолекулярные фенольные соединения – предшественники гумусовых кислот

Классификация фенольных соединений по типу углеродного скелета. Низкомолекулярные фенольные соединения - фенольные кислоты, фенилпропаноиды, депсиды, лигнаны, флавоноиды. Дубильные вещества. Структура, свойства, распространение, реакционная способность.

Тема 5. Лигнин и меланины как источники ароматического углерода в почвах

Лигнин – строение, биосинтез. Лигнины хвойных, лиственных и травянистых растений, структурные фрагменты при окислении оксидом меди, их устойчивость к биодеградации и накопление в составе органического вещества почв. Меланины - классификация, структура, биосинтез, свойства. Сходство и различия в структуре лигнина, меланинов и гумусовых кислот. Устойчивость лигнина и меланинов к биодеградации.

Раздел 2. Ферменты

Тема 1. Ферменты и ферментативный катализ

Ферменты, их свойства и классификация. Механизм ферментативной реакции, фермент-субстратный комплекс, энергия активации.

Тема 2. Основы ферментативной кинетики. Активность фермента. Субстратная специфичность. Зависимость скорости реакции от концентрации субстрата. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Влияние температуры и pH на скорость реакции. Ингибирование и инактивация ферментов.

Тема 3. Ферменты в почвах

Адсорбция и иммобилизация ферментов минеральными фазами. Механизмы сорбции. Влияние адсорбции на активность и каталитические свойства ферментов. Оксидоредуктазы в почвах: распределение по профилю, активность.

Раздел 3. Деградационные и конденсационные процессы при гумификации

Тема 1. Внеклеточные гидролитические и окислительные ферменты микроорганизмов

Гидролазы, гликозидазы. Классификация, свойства, субстратная специфичность, продуценты. Целлюлолитические ферменты. Внеклеточные окислительные ферменты. Лигнолитические и нелигнолитические пероксидазы, лакказа, тирозиназа. Продуценты, структура, свойства, каталитический цикл, субстратная специфичность.

Тема 2. Деструкция органических остатков, образование и трансформация гумусовых кислот.

Биодеградация лигноцеллюлозы. Грибы мягкой, бурой и белой гнили древесины, их ферментные системы. Неферментативные реакции с участием свободных радикалов (реакция Фентона), их роль в трансформации лигнина и образовании гумусовых кислот. Биохимическая трансформация гумусовых кислот микроорганизмами.

Тема 3. Конденсационные процессы при гумификации. Гомогенный и гетерогенный биокатализ.

Свободнорадикальные реакции при участии фенолоксидаз. Влияние структуры фенольных соединений на их реакционную способность. Медиаторы. Гомогенный катализ и его ограничения в почвах. Реакции на границе раздела фаз. Роль сорбционных взаимодействий в гетерогенном ферментативном катализе. Адсорбционная и поверхностная полимеризация.

Тема 4. Абиотические каталитические реакции при гумификации

Каталитическая роль ионов железа и марганца в окислении фенольных субстратов. Роль оксидов, гидроксидов и глинистых минералов в образовании гуминовых молекул из растворимых предшественников. Реакция Майара и образование меланоидинов. Каталитическая роль оксидов железа и марганца в этом процессе.

Тема 5. Гумификация в древней биосфере.

Первые организмы-гумусообразователи: цианобактерии, водоросли, грибы, лишайники, мхи. Их появление в истории Земли, распространение в современной биосфере, химический состав, наличие устойчивых био(макро)молекул, фенольных соединений. Ферменты микромицетов и лишайников. Роль конденсационных процессов в образовании гумусовых веществ на ранних этапах гумусообразования.

7. **Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине**:

7.1. **Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля:**

Раздел 1. Гумусовые вещества: их происхождение и предшественники

Тема 1. Анализ литературы

1. Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Kleber M. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011. V. 478. P. 49–56.
2. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // Nature. 2015. V. 528. P. 60–68.

Тема 2. Разбор статей, презентации по статьям

1. Olk D.C., Bloom P.R., Perdue E.M., McKnight D.M., Chen Y., Farenhorst A., Senesi N. et al. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters // J. Environ. Qual. 2019. V. 48. P. 217–232.
2. De Nobili M., Bravo C., Chen Y. The spontaneous secondary synthesis of soil organic matter components: A critical examination of the soil continuum model theory // Appl. Soil Ecol. 2020. V. 154. P. 103655.
3. Cao X., Schmidt-Rohr K. Abundant non-protonated aromatic and oxygen-bonded carbons make humic substances distinct from biopolymers // Environ. Sci. Technol. Lett. 2018. V. 5. P. 476−480. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00107
4. Dou S., Shan J., Song X., Cao R., Wu M., Li Ch., Guan S. Are humic substances soil microbial residues or unique synthesized compounds? A perspective on their distinctiveness // Pedosphere. 2020. V. 30(2). P. 159–167. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60001-7

Тема 4. Контрольная работа по фенольным соединениям (ФС)

1. Классификация и базовые структуры фенольных соединений. Примеры соединений, относящихся к каждому классу.
2. Структуры и примеры С6-С1, С6-С3 и С6-С3-С6 соединений. Структуры п-оксибензойной, ванилиновой, сиреневой кислот и соответствующих им оксикоричных кислот и спиртов
3. Какие полимерные соединения образуются на основе С6-С1, С6-С3, С6-С3-С6 соединений.
4. Пути биосинтеза ФС – в каких организмах реализуются, какие классы ФС каждым путем образуются, исходные соединения в каждом пути.
5. Физические свойства ФС, основные реакции с участием фенольных соединений

Тема 5. Устный опрос по полимерным фенольным соединениям

Гидролизуемые и негидролизуемые дубильные вещества - из каких предшественников образуются, биосинтез, свойства.
Лигнин – предшественники, биосинтез, свойства, продукты окисления. Ванилиновые, сиреневые и коричные структуры как биомаркеры лигнина в почвах. Накопление в различных видах растений (различия между травянистыми, лиственными и хвойными породами). Накопление в почвах, причины устойчивости или неустойчивости. Препараты лигнина.
Меланины – сходство и различия с ГК почв.

Раздел 2. Ферменты

Тема 1. Примеры заданий по систематике ферментов

1. С использованием базы данных www.brenda-enzymes.org дать систематическое название трипсину, химотрипсину, уреазе, рибонуклеазе А.
2. По КФ номерам (база данных www.expasy.ch) дать систематическое название ферменту.
3. Назвать субстрат, исходя из систематического названия фермента.

Тема 2. Примеры заданий по ферментативной кинетике

1. При какой концентрации субстрата фермент, для которого максимальная скорость превращения субстрата составляет 30мкмолей/мин мг, а величина Км равна 0,005 М будет работать со скоростью, равной ¼ максимальной?
2. Определить, какую долю Vmax будет составлять скорость реакции при концентрациях субстрата , равных ½ Км, 2 Км, 10 Км
3. Число оборотов фермента. Карбоангидраза эритроцитов, имеющая молекулярную массу 30000 – один из самых активных ферментов. Она катализирует обратимую реакцию:
   $H_2O+CO_2 = H_2CO_3$, которая играет важную роль в транспорте CO_2 из тканей в легкие. Рассчитайте число оборотов карбоангидразы, если при оптимальных условиях 10 мкг чистой карбоангидразы катализируют гидратацию 0,3 г CO_2 в 1 мин при 37С. (400000 с-1)

Темы 1 и 2 – коллоквиум

Ферменты – природа, строение, свойства. Кофакторы, коферменты. Сходство и отличия ферментов и небиологических катализаторов.
Классификация и номенклатура ферментов. Номер и название класса, какой тип реакции катализируют. Систематическое и тривиальное название фермента.
Суть каталитического действия ферментов - энергия активации, энергия связывания. Уравнение ферментативной реакции, образование фермент-субстратного комплекса как необходимая стадия ферментативного катализа. Субстратная специфичность ферментов: чем обеспечивается, виды субстратной специфичности, теории Фишера и Кошланда.
Ферментативная кинетика. Зависимость скорости реакции от концентрации субстрата. Начальная скорость реакции – что характеризует. Уравнение Михаэлиса-Ментен, константы Vmax и Km, что они характеризуют, мерой чего являются, чему численно равна константа Михаэлиса.
Функционирование ферментов. Зависимость скорости реакции от температуры, pH. Ингибиторы и активаторы. Виды ингибирования. Как экспериментально отличить конкурентное от неконкурентного обратимого ингибирования.
Единица активности ферментов. Общая, удельная или молекулярная (число оборотов) активности, единицы измерения.
Ферменты в почвах – распределение по профилю, иммобилизация ферментов, изменение свойств при иммобилизации.

Раздел 3. Деградационные и конденсационные процессы при гумификации

Тема 1. Гидролитические и окислительные ферменты

1. По базе данных www.brenda-enzymes.org описать свойства заданного фермента - систематическое название, схема катализируемой реакции, организмы-продуценты, функциональные свойства (Km, число оборотов, pH оптимум и pH диапазон, температурный диапазон и оптимум для ряда субстратов), продуценты, структура, молекулярный вес.

Ферменты:
лакказа (КФ 1.10.3.2)
Mn-зависимая пероксидаза (КФ 1.11.1.13)
лигнин пероксидаза (КФ 1.11.1.14)
универсальная пероксидаза (1.11.1.16)
целлобиозо-дегидрогеназа CDH (1.1.99.18)

2. Рефераты или презентации по ферментам на основе статей:

1. Лакказа – строение, свойства, продуценты, роль в деструкции лигнина

   Forootanfar H, Faramarzi M.A. Insights into laccase producing organisms, fermentation states, purification strategies, and biotechnological applications. Biotechnol. Prog., 2015, Vol. 31, No. 6 DOI 10.1002/btpr.2173

   Furukawa T., Bello F.O., Horsfall L. Microbial enzyme systems for lignin degradation and their transcriptional regulation. Front. Biol. 2014. DOI 10.1007/s11515-014-1336-9

   2. Mn-зависимая пероксидаза – строение, свойства, роль в деструкции лигнина

   M.Hofrichter. Lignin conversion by manganese peroxidase. Enzyme and Microbial Technology 30 (2002) 454–466.

   Furukawa T., Bello F.O., Horsfall L. Microbial enzyme systems for lignin degradation and their transcriptional regulation. Front. Biol. 2014. DOI 10.1007/s11515-014-1336-9

2. Универсальная пероксидаза – каталитический цикл, свойства, отличия от лигнин-пероксидазы и Mn-зависимой пероксидазы, роль в деструкции лигноцеллюлозы

   Ravichandran A, Sridhar M. Versatile peroxidases: super peroxidases with potential biotechnological applications-a mini review. *J Dairy Vet Anim Res.* 2016;4(2):277–280. DOI: 10.15406/jdvar.2016.04.00116;

   Ravichandran A, Sridhar M. Insights into the mechanism of lignocellulose degradation by versatile peroxidases CURRENT SCIENCE, VOL. 113, NO. 1, 10 JULY 2017;

   Ruiz-Duenas FJ, Martınez MJ, Martınez AT. Molecular characterization of a novel peroxidase isolated from the ligninolytic fungus Pleurotus eryngii. Molecular Microbiology (1999) 31(1), 223–235

3. Лигнин-пероксидаза - каталитический цикл, свойства, роль в деструкции лигнина

   Falade et al. Lignin peroxidase functionalities and prospective applications. DOI: 10.1002/mbo3.394 (разделы 4-6)

   Furukawa T., Bello F.O., Horsfall L. Microbial enzyme systems for lignin degradation and their transcriptional regulation. Front. Biol. 2014. DOI 10.1007/s11515-014-1336-9

4. Тирозиназа – каталитический цикл, редокс-потенциал, отличия от лакказы, LiP-подобные свойства

   Zolghadria A comprehensive review on tyrosinase inhibitors. Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry 2019, vol. 34, no. 1, 279–309 ttps://doi.org/10.1080/14756366.2018.1545767.

   Min et al. Perspectives for biocatalytic lignin utilization: cleaving 4‑ *O*‑ 5 and Cα–Cβ bonds in dimeric lignin model compounds catalyzed by a promiscuous activity of tyrosinase. Biotechnol Biofuels (2017) 10:212 DOI 10.1186/s13068-017-0900-3.

5. Целлобиозо дегидрогеназа – каталитический цикл, свойства, деструкция целлюлозы

   Gunnar Henriksson, Gunnar Johansson, Go¨ran Pettersson. A critical review of cellobiose dehydrogenases. Journal of Biotechnology 78 (2000) 93–113

Темы 3-5. Деградация и конденсация при гумификации

Коллоквиум.

Лигноцеллюлоза как основной субстрат для гумификации. Целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин: строение, основные типы связей, структурные фрагменты (мономеры) – кратко. Соотношение лигнина, целлюлозы, гемицеллюлоз в одревесневших и неодревесневших тканях.

Ферменты, действующие на углеводные и фенольные компоненты растительных остатков. Гидролитические и окислительные ферменты, разрушающие полисахариды клеточных стенок: классификация, свойства, катализируемые реакции, роль в гумификации. Оксидоредуктазы: принцип каталитического действия, классификация. Лигнолитические пероксидазы – лигнин-пероксидаза, Mn-зависимая пероксидаза, универсальная пероксидаза: продуценты, строение, свойства, катализируемые реакции, субстраты, образующиеся продукты. Полифенолоксидазы, участвующие в гумификации - лакказа и тирозиназа: продуценты, строение, свойства, катализируемые реакции.

Деструкционные процессы при гумификации. Дереворазрушающие грибы, их роль в гумификации. Грибы белой, бурой, мягкой гнили, какие породы колонизируют, ферментативные системы лигнолитических и целлюлолитических грибов. Деструкция лигнина грибами бурой, белой, мягкой гнили, изменения в структуре лигнина, продукты трансформации. Трансформация гуминовых кислот окислительными ферментами грибов, лакказами бактерий. Изменения в свойствах ГВ, образующиеся продукты. Какие выводы можно сделать о структуре и молекулярной устойчивости гуминовых кислот на основе реакций взаимодействия этих веществ с окислительными ферментами грибов и бактерий.

Конденсационные процессы при гумификации. Какие реакции лежат в основе конденсационной гипотезы, катализаторы этих реакций, условия, способствующие конденсации. Реакционная способность азотистых и фенольных соединений. Принципы окисления фенольных соединений, образующиеся продукты. Источники низкомолекулярных ФС для конденсации. Гомогенный и гетерогенный катализ. Условия протекания окислительных реакций в почвах. Молекулярные массы продуктов в зависимости от природы катализатора и минеральной фазы. Роль окислительных ферментов в секвестрации (связывании и стабилизации) ароматического углерода в почвах.

Гумификация в древней биосфере. Принцип актуализма при реконструкции процессов гумусообразования в древней биосфере. Гумус в долигниновой биосфере, возможные организмы-гумификаторы. Источники ароматических соединений в почвах, катализаторы гумификации. Отличия “грибного” гумуса от гумуса высших растений.

7.2. **Типовые контрольные вопросы, задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации:**

Примерные вопросы для зачета

1. Биосферные функции, фракции и пулы органического вещества почвы.
2. Гумусовые вещества – старые и новые взгляды на их образование, строение и свойства
3. Целлюлоза: структура, свойства и ферменты, участвующие в биодеградации
4. Лигнин: строение, свойства, трансформация при гумификации
5. Гемицеллюлозы и их биодеградация
6. Окислительные ферменты и свободнорадикальные реакции в гумусообразовании
7. Глюкозидазы: продуценты, субстраты, свойства и роль в гумификации
8. Лакказа и тирозиназа: строение, свойства, субстраты, продуценты, роль в гумификации
9. Лигнолитические пероксидазы: строение, свойства, субстраты, продуценты, роль в деструкции лигнина и гумификации
10. Дереворазрушающие грибы, их ферменты. Деструкция лигноцеллюлозы и образование гумусовых кислот
11. Грибы белой гнили, их ферментативные системы, роль в гумусообразовании
12. Деструкция древесины грибами бурой гнили древесины, значение для гумусообразования. Реакция Фентона.
13. Грибы мягкой гнили (микромицеты) и ферменты, действующие на углеводные и фенольные соединения. Роль микромицетов в гумификации
14. Гомогенный и гетерогенный ферментативный катализ. Ферменты в почвах. Влияние минеральных фаз на активность и стабильность ферментов
15. Абиогенный катализ в гумификации, каталитическая роль оксидов железа и марганца. Реакция Майара.
16. Гумификация в отсутствие лигнина на ранних стадиях почвообразования.

8. **Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине:**

В таблице представлена шкала оценивания результатов обучения по дисциплине. Уровень знаний обучающегося оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Оценка "отлично" выставляется, если обучающийся демонстрирует сформированные систематические знания, умения и навыки их практического использования. Оценка "хорошо" ставится, если при демонстрации знаний, умений и навыков студент допускает отдельные неточности (пробелы, ошибочные действия) непринципиального характера. При несистематических знаниях, демонстрации отдельных (но принципиально значимых навыков) и затруднениях в демонстрации других навыков выставляется оценка «удовлетворительно». Оценка "неудовлетворительно" ставится, если знания и умения фрагментарны, а навыки отсутствуют.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка и РО	**2**	**3**	**4**	**5**

соответствующие виды оценочных средств				
Знания устные и письменные опросы и контрольные работы, тесты, презентации	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения практические контрольные задания, создание презентаций и написание рефератов на заданную тему	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) Обобщение информации в виде докладов, рефератов и презентаций	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

9. **Ресурсное обеспечение:**

Перечень основной и дополнительной учебной литературы

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
2. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
3. Семенов В.М., Тулина А.С., Семенова Н.А., Иванникова Л.А. Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве (обзор) // Почвоведение. 2013. № 4. С. 393– 407.
4. Заварзина А.Г., Данченко Н.Н., Демин В.В., Артемьева З.С., Когут Б.М. Гуминовые вещества – гипотезы и реальность (обзор). Почвоведение. 2021. № 12. с. 1449–1480.
5. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях // Рос. АН. Ин-т физиологии растений им. К.А. Тимирязева, М.: Наука 1993.
6. Нельсон Д. Основы биохимии Ленинджера : в 3 т. Т. 1 : Основы биохимии, строение и катализ / Д. Нельсон, М. Кокс ; пер. с англ. — 3-е изд., испр. — М.: Лаборатория знаний, 2017. — 694 с. : ил. — (Лучший зарубежный учебник).
7. Angst G., Mueller K.E., Nierop K.G.J., Simpson M.J. Plant- or microbial-derived? A review on the molecular composition of stabilized soil organic matter // Soil Biol. Biochem. 2021. V. 156. 108189. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108189

8. Burns R.G., DeForest J.I., Marxsen J., Sinsabaugh R.I., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions // Soil Biol. Biochem. 2013. V. 58. P. 216–234.
9. Burns R.G., DeForest J.I., Marxsen J., Sinsabaugh R.I., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions // Soil Biol. Biochem. 2013. V. 58. P. 216–234.
10. Cao X., Schmidt-Rohr K. Abundant non-protonated aromatic and oxygen-bonded carbons make humic substances distinct from biopolymers // Environ. Sci. Technol. Lett. 2018. V. 5. P. 476−480. https://doi.org/10.1021/acs.estlett.8b00107
11. De Nobili M., Bravo C., Chen Y. The spontaneous secondary synthesis of soil organic matter components: A critical examination of the soil continuum model theory // Appl. Soil Ecol. 2020. V. 154. P. 103655. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103655
12. Dou S., Shan J., Song X., Cao R., Wu M., Li Ch., Guan S. Are humic substances soil microbial residues or unique synthesized compounds? A perspective on their distinctiveness // Pedosphere. 2020. V. 30(2). P. 159–167. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60001-7
13. Gerke J. Concepts and misconceptions of humic substances as the stable part of soil organic matter: A review // Agronomy. 2018. V. 8(5). P. 76. https://doi.org/10.3390/agronomy8050076
14. Hayes M.H.B., Mylotte R., Swift R.S. Humin: its composition and importance in soil organic matter // Adv. Agron. 2017. V. 143. P. 47–138. https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.001
15. Kleber M., Johnson M.G. Advances in understanding the molecular structure of soil organic matter: Implications for interactions in the environment // Adv. Agron. 2010. V. 106. P. 77–142. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)06003-7
16. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // Nature. 2015. V. 528. P. 60–68.
17. Naidja A., Huang P.M., Dec J., Bollag J.M. Comparison of the reaction products from the transformation of catechol catalyzed by birnessite or tyrosinase // Soil Sci. Soc. Am. J. 1998. V. 62. P. 188–195.
18. Olk D.C., Bloom P.R., Perdue E.M., McKnight D.M., Chen Y., Farenhorst A., Senesi N. et al. Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters // J. Environ. Qual. 2019. V. 48. P. 217–232. https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041
19. Schaeffer A., Nannipieri P., Kästner M., Schmidt B., Botterweck J. From humic substances to soil organic matter–microbial contributions. In honor of Konrad Haider and James P. Martin for their outstanding research contribution to soil science // J. Soils Sediments. 2015. V. 15. P. 1865–1881. https://doi.org/10.1007/s11368-015-1177-4
20. Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.A., Kleber M. et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011. V. 478. P. 49–56. https://doi.org/10.1038/nature10386
21. Sinsabaugh R.L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil // Soil Biol. Biochem. 2010. V. 42. P. 391–404.
22. Stevenson F.J. Humus Chemistry, Genesis, composition, reactions. N.Y.: John Wiley & Sons, 1994. 512 p
23. Thevenot M., Dignac M.-F., Rumpel C. Fate of lignins in soils: A review // Soil Biol. Biochem. 2010. V. 42. P. 1200–1211.
24. von Lützow, M., Kögel-Knabner I., Ekschmitt K., Flessa H., Guggenberger G., Matzner E., Marschner B. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions – a review // Eur. J. Soil Sci. 2006. V. 57. P. 426–445.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Классификация ферментов www.brenda-enzymes.org

ЕС (КФ) номера: www.expasy.ch
База данных гидролитических ферментов CAZy http://www.cazy.org/

10. **Язык преподавания:** русский

11. **Преподаватель (преподаватели):**
ФИО: Заварзина Анна Георгиевна
Должность: внс
Ученая степень: кбн (2000, факультет почвоведения МГУ)
Ученое звание: (когда и кем присвоено)

12. **Разработчик программы:**
ФИО: Заварзина Анна Георгиевна
Должность: внс
Ученая степень: кбн (2000, факультет почвоведения МГУ)
Ученое звание: (когда и кем присвоено)

13. **Краткая аннотация дисциплины:**
Курс “Биохимические основы гумусообразования” посвящен проблеме образования гумуса и его специфических (гуминовых) веществ, роли микроорганизмов и их внеклеточных окислительных и гидролитических ферментов в этом процессе. Рассматриваются биосферные функции органического вещества почв, процессы стабилизации органического углерода в зависимости от биоклиматических условий почвообразования; современные представления о составе органического вещества почвы, проблемы номенклатуры, терминологии и генезиса гумусовых веществ. Рассматривается состав органических остатков различных организмов-гумусообразователей, роль фенольных соединений в гумификации. Отдельный раздел курса посвящен классификации ферментов и основам ферментативной кинетики, а также роли оксидоредуктаз в процессах образования и трансформации веществ гумуса. Особое внимание уделяется реакциям на границе раздела фаз (гетерофазный биокатализ). Рассматривается роль абиотических каталитических реакций в гумусообразовании. Заключительный раздел курса посвящен особенностям процессов гумификации под высшей и низшей растительностью, реконструкции процессов гумификации в долигниновой биосфере.