

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ястребов Олег Александрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 18.05.2026 17:28:46
Уникальный программный ключ:
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

Институт экологии

(наименование основного учебного подразделения (ОУП) – разработчика ОП ВО)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

УГЛЕРОДНЫЕ ЦИКЛЫ

(наименование дисциплины/модуля)

Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:

05.04.06 ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):

УПРАВЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПРОЕКТАМИ

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Углеродные циклы» входит в программу магистратуры «Управление климатическими проектами» по направлению 05.04.06 «Экология и природопользование» и изучается в 1 семестре 1 курса. Дисциплину реализует Департамент экологической безопасности и менеджмента качества продукции. Дисциплина состоит из 4 разделов и 8 тем и направлена на изучение - основных циклов углерода и их взаимосвязь;

- анализа влияния современных изменений климата на различные аспекты жизни через воздействие на углеродный цикл;
- оценки обратных связей в системе климат-углеродный цикл;
- ознакомления с методами мониторинга потоков углерода в земных сферах.

Целью освоения дисциплины является Получить фундаментальные знания о компонентах углеродного цикла и их взаимосвязи;

Понимание влияния современных глобальных изменений климата на углеродный цикл и его отражение в современной экономической ситуации;

Ознакомиться с основными методами мониторинга потоков углерода в земных сферах;

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Углеродные циклы» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ОПК-2	Способен использовать специальные и новые разделы экологии, геоэкологии и природопользования при решении научно-исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знает основы экологии, геоэкологии, экономики природопользования и экономики замкнутого цикла, а также экологического менеджмента; ОПК-2.2 Умеет использовать экологические, экономические и другие специальные знания и алгоритмы для решения профессиональных задач; ОПК-2.3 Способен находить, анализировать и грамотно использовать новейшую информацию и современные методики при выполнении научно-исследовательских и прикладных задач;
ПК-4	Способен проводить экологический анализ проектов расширения, реконструкции, модернизации действующих производств с учетом требований стандартов в сфере управления парниковыми газами	ПК-4.1 Умеет проводить расчеты поглощений / выбросов парниковых газов и прогнозировать их изменения в зависимости от выбранных технологий; ПК-4.2 Способен разрабатывать климатические проекты;

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Carbon Cycles» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Carbon Cycles».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
------	--------------------------	---	--

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
ОПК-2	Способен использовать специальные и новые разделы экологии, геоэкологии и природопользования при решении научно-исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности		
ПК-4	Способен проводить экологический анализ проектов расширения, реконструкции, модернизации действующих производств с учетом требований стандартов в сфере управления парниковыми газами		Pre-Graduation Practice; Work Experience Internship; Research Work; Carbon Test Areas and GHG Monitoring; Climate Project Development; Climate Neutrality and Waste Management; International Standards for GHG Management;

* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

** - элективные дисциплины /практики

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Углеродные циклы» составляет «4» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.		Семестр(-ы)
			1
<i>Контактная работа, ак.ч</i>	36		36
Лекции (ЛК)	18		18
Лабораторные работы (ЛР)	0		0
Практические/семинарские занятия (СЗ)	18		18
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	90		90
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	18		18
Общая трудоемкость дисциплины ак.ч.	ак.ч.	144	144
	зач.ед.	4	4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы*

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Введение в углеродные циклы	1.1	Основы углеродного цикла	В теме рассматривается понятие биогеохимического цикла углерода как основы функционирования биосферы и климатической системы. Изучаются основные резервуары (пулы) углерода: геологический (осадочные породы, известняки, горючие ископаемые – нефть, газ, уголь); океанический (растворённый неорганический углерод, морские организмы); наземный биотический (фитомасса, детрит, почвенное органическое вещество); атмосферный (CO ₂ , CH ₄ , CO, летучие органические соединения). Обсуждаются основные потоки углерода между пулами: фотосинтез, дыхание (автотрофное и гетеротрофное), разложение органики, океанический насос (физический и биологический), вулканическая дегазация, антропогенные эмиссии. Вводятся единицы измерения потоков (ПгС/год – петаграмм углерода в год, 1 Пг = 10 ¹⁵ г). Приводятся глобальные бюджетные балансы: доиндустриальный период и современный. Рассматриваются временные масштабы циклов: быстрый (годы–десятилетия – обмен между атмосферой, растениями, почвой, поверхностным океаном) и медленный (тысячелетия – геологическое захоронение и выветривание). Демонстрируется роль углеродного цикла в поддержании парникового эффекта и регуляции температуры Земли.	ЛК, СЗ
		1.2	Взаимосвязь между компонентами углеродного цикла	Тема посвящена анализу прямых и обратных связей между резервуарами. Детально разбираются: Связь атмосфера – океан: растворение CO ₂ , образование угольной кислоты, карбонатная система океана, буферный эффект (фактор Рейвелла). Влияние температуры на растворимость газов. Связь атмосфера – сухопутная биота: зависимость фотосинтеза от концентрации CO ₂ (удобрение CO ₂), от температуры и влажности. Влияние климатических аномалий (засухи, пожары) на эмиссию углерода. Связь океан – осадки – биота: перенос углерода с речным стоком, захоронение органики в дельтах и шельфах. Геологический аспект: поглощение CO ₂ при выветривании силикатов, формирование карбонатов, вулканическое возвращение углерода в атмосферу. Изучаются понятия «стоки» (поглотители) и «источники» парниковых газов, их пространственно-временная изменчивость. Анализируется современное нарушение цикла человеком: сжигание ископаемого топлива, изменение землепользования (вырубка лесов, осушение торфяников, агротехника). Рассматривается эффект «дополнительного» антропогенного углерода, приводящий к росту атмосферной концентрации CO ₂ (кривая Киллинга).	ЛК, СЗ
Раздел 2	Влияние климатических изменений на углеродные циклы	2.1	Воздействие изменения климата на углеродный цикл	Анализируются прямые и косвенные эффекты глобального потепления на потоки углерода: Повышение температуры: увеличение скорости дыхания почв и разложения органики → дополнительная эмиссия CO ₂ (положительная обратная связь); снижение растворимости CO ₂ в океане → ослабление океанического поглощения. Изменение режима увлажнения: засухи снижают фотосинтез и приводят к гибели лесов; избыточное увлажнение активизирует анаэробные процессы → эмиссия метана (CH ₄). Таяние вечной мерзлоты (криолитозоны): высвобождение огромных запасов органического углерода (по оценкам – ~1500 ПгС) в виде CO ₂ и CH ₄ , причём метан имеет потенциал глобального потепления в 28–84 раз выше, чем CO ₂ . Океан:	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				<p>потепление и закисление океана (океанский кислотный стресс) снижают эффективность биологического насоса, угнетают кальцифицирующий планктон (кокколитофориды, фораминиферы), нарушая транспорт углерода в глубь океана. Климатические экстремумы: лесные и торфяные пожары, вспышки вредителей (например, короед-типограф) превращают леса из стока в источник углерода. Обсуждаются сценарии МГЭИК (SSP – Shared Socioeconomic Pathways) и прогнозируемые обратные связи климат–углеродный цикл в XXI веке.</p>	
		2.2	Влияние антропогенных факторов на углеродный цикл	<p>Рассматриваются прямые антропогенные воздействия, не связанные непосредственно с изменением климата, но влияющие на цикл углерода: Сжигание ископаемого топлива и цементное производство – основной источник «нового» углерода, ранее изъятая из геологического цикла. Изменение землепользования: дефорестация (особенно тропических лесов) → потеря стока и дополнительная эмиссия; осушение торфяников для сельского хозяйства → мощные эмиссии CO₂. Агротехника: вспашка усиливает минерализацию почвенного органического углерода; использование азотных удобрений увеличивает эмиссию закиси азота (N₂O), которая также влияет на время жизни метана и косвенно на углеродный цикл. Выбросы аэрозолей (сульфаты, чёрный углерод): охлаждающий эффект сульфатов маскирует часть потепления, но также изменяет рассеянную радиацию, влияя на фотосинтез экосистем. Урбанизация и промышленность: создание «горячих островов», изменение гидрологического режима, эмиссии из свалок (метан). Также обсуждаются косвенные антропогенные эффекты: фрагментация экосистем, инвазии видов, изменение пожароопасности. Вводится понятие «антропогенного нарушения углеродного баланса» и методы его количественной оценки.</p>	ЛК, СЗ
Раздел 3	Управление углеродными циклами	3.1	Методы мониторинга и анализа углеродных потоков	<p>Тема охватывает современный инструментарий измерения и расчёта потоков углерода на разных масштабах: Прямые измерения: Метод турбулентных пульсаций (eddy covariance) – вышки с газоанализаторами для экосистем (Fluxnet). Камерные методы (почвенные дыхание, эмиссия из водных объектов). Дистанционное зондирование: Спутники (OCO-2, OCO-3, GOSAT, Sentinel-5P) – измерение столбовой концентрации CO₂ и CH₄. Данные о растительном покрове (NDVI, LAI, продуктивность). Инверсионное моделирование: восстановление потоков углерода по атмосферной концентрации и метеопоям (системы CAMS, CarbonTracker). Моделирование: Биогеохимические модели (LPJ, CABLE, CLM, ORCHIDEE) – симуляция обмена углеродом между пулами. Модели общей циркуляции с встроенным углеродным циклом (ESM – Earth System Models). Изотопные методы: соотношение δ¹³C и Δ¹⁴C для разделения антропогенного и природного CO₂, источников метана (биогенный vs. термогенный). Рассматриваются базы данных (FLUXNET, ICOS, AmeriFlux, национальные системы учёта парниковых газов). Обсуждается точность методов и неопределённости в глобальном углеродном бюджете.</p>	ЛК, СЗ
		3.2	Стратегии управления углеродными циклами для снижения выбросов	<p>Тема посвящена практическим подходам к изменению углеродного цикла в интересах климатической стабилизации: Природные решения: Лесовосстановление и лесоразведение (увеличение стока биомассой). Агроресурсоэффективность, регенеративное земледелие (повышение содержания органического углерода в почвах). Восстановление торфяников (обводнение для прекращения эмиссии CO₂). Устойчивое управление пастбищами и предотвращение деградации земель. Технологические</p>	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				решения (улавливание и хранение углерода – CCUS): Улавливание CO ₂ из выхлопных газов ТЭС, цементных заводов. Прямой захват из воздуха (DAC). Минерализация CO ₂ (образование карбонатов). Океанические методы: Закисление океана для усиления биологического насоса (спорно, рискованно). Внесение железного удобрения (эксперименты прошлого показали неэффективность). Институциональные механизмы: Углеродное ценообразование (налог, система торговли квотами). Углеродные кредиты и рынки (добровольные и регулируемые). Механизм устойчивого развития (SDM) Парижского соглашения. Обсуждаются ограничения: конкурентное использование земли (продовольствие vs. лес), долговременность хранения (пожары, распашка), экономическая эффективность.	
Раздел 4	Применение знаний об углеродных циклах в управлении климатическими проектами	4.1	Оценка и прогнозирование последствий изменения углеродного цикла	Тема фокусируется на прикладных аспектах для разработки климатических проектов: Методики расчёта выбросов и поглощений: стандарты IPCC (Руководства 2006, 2019, Уточнения 2019), национальные кадастры парниковых газов. Углеродный след продукции (PCF, ISO 14067) и углеродный след организации (ISO 14064). Методология оценки дополнительной (additionality) и утечки (leakage) для климатических проектов (например, проекты лесовосстановления, управления землепользованием). Прогнозирование потоков углерода под разными сценариями: Использование эмпирических моделей (анализ временных рядов). Полуэмпирические и процессные модели (ROTH-C, CENTURY, DNDC). Оценка неопределённостей и рисков (пожары, болезни, изменение политики). Баланс углерода на уровне проекта: создание углеродных единиц (верифицированных сокращений выбросов, VER) и их мониторинг в течение всего жизненного цикла. Рассматриваются примеры: проект по защите торфяников от осушения, проект восстановления мангровых лесов (высокая скорость захоронения углерода), проект лесоразведения в бореальной зоне. Обсуждается, как изменение углеродного цикла (например, таяние мерзлоты) может нивелировать положительный эффект проекта.	ЛК, СЗ
		4.2	Разработка и внедрение мер по адаптации к изменениям углеродного цикла	В теме акцент сделан на адаптационных стратегиях в условиях нестабильного углеродного цикла: Устойчивое управление экосистемами: Создание экологических коридоров для миграции видов, которые участвуют в углеродном цикле. Контроль пожаров и борьба с инвазивными видами. Адаптация сельского хозяйства: Посевные покровные культуры, минимальная обработка почвы (no-till) – сохранение почвенного углерода. Агротехника с высоким содержанием углерода (биочар, компостирование). Адаптация лесопользования: Прореживание для снижения пожароопасности, посадка устойчивых к климату пород. Сокращение сплошных рубок. Прибрежные и морские адаптации: Восстановление водорослевых лесов и соляных маршей (голубой углерод). Снижение эвтрофикации для защиты биологического насоса. Экономические и правовые инструменты: Страхование углеродных стоков от климатических катастроф. Включение углеродных рисков в проекты территориального планирования. Образовательные и коммуникационные меры: доведение знаний об углеродном цикле до лиц, принимающих решения, и населения. Рассматриваются кейсы: адаптация климатического проекта в регионе с высоким риском засух, меры по предотвращению высвобождения углерода при строительстве инфраструктуры в криолитозоне.	ЛК, СЗ

* - заполняется только по ОЧНОЙ форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Комплект специализированной мебели; доска меловая; технические средства: компьютер, монитор, выдвижной проекционный экран, имеется выход в интернет. Microsoft Windows 7 корпоративная., MS Office
Семинарская	Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	Комплект специализированной мебели; доска меловая; технические средства: компьютер, монитор, выдвижной проекционный экран, имеется выход в интернет. Microsoft Windows 7 корпоративная., MS Office
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	Комплект специализированной мебели; доска меловая; технические средства: компьютер, монитор, выдвижной проекционный экран, имеется выход в интернет. Microsoft Windows 7 корпоративная., MS Office

* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. A Climate of Truth: Why We Need It and How to Get It. Mike Berners-Lee. Cambridge Univ. Press (2025)

Дополнительная литература:

1. Impact of tropospheric sulphate aerosols on the terrestrial carbon cycle.

http://downloads.igce.ru/journals/FAC/FAC_2017/FAC_2017_4/Eliseev_A_V_FAC_2017_4.pdf

2. Carbon and Other Biogeochemical Cycles. (2013). <https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324.015>

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН <https://mega.rudn.ru/MegaPro/Web>
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>
- ЭБС «Консультант студента» www.studentlibrary.ru
- ЭБС «Знаниум» <https://znanium.ru/>

2. Базы данных и поисковые системы

- Sage <https://journals.sagepub.com/>

- Springer Nature Link <https://link.springer.com/>
- Wiley Journal Database <https://onlinelibrary.wiley.com/>
- Научометрическая база данных Lens.org <https://www.lens.org>

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля:*

1. Курс лекций по дисциплине «Carbon Cycles».

* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

РАЗРАБОТЧИКИ

доцент

Должность

РУКОВОДИТЕЛЬ БУП

директор департамента экологической
безопасности и менеджмента качества
продукции

Должность

РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО

директор департамента экологической
безопасности и менеджмента качества
продукции

Должность

Хитев Ю.П.

Фамилия И.О

Савенкова Е.В.

Фамилия И.О

Савенкова Е.В.

Фамилия И.О