Приложение № 4
к образовательной программе высшего образования – программе магистратуры
по направлению подготовки 05.04.06 Экология и природопользование
(направленность (профиль) «Геоэкология: мониторинг, прогноз и управление»)

АВТОНОМНАЯ НЕКОММЕРЧЕСКАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»
(АНОО ВО «УНИВЕРСИТЕТ «СИРИУС»)

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 7835bcdac1c89a3da835a18f6045494f3f404337
Владелец: Некрасова Людмила Андреевна
Действителен: с 08.07.2026 до 08.07.2027

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

«Глобальные изменения климата и современные методы их изучения»

1. Трудоемкость дисциплины (модуля): 3 з.е.

2. Место дисциплины (модуля) в учебном плане:

Обязательная часть «Профессиональной подготовки» в рамках Блока 1. Дисциплины (модули), реализуется в 1 семестре.

3. Цель дисциплины (модуля): формирование у обучающихся способности использовать современные теоретические представления о климатической системе Земли, методы климатического мониторинга, анализа данных и математического моделирования для исследования глобальных климатических изменений, оценки состояния и динамики природных систем, а также решения научных и прикладных задач в области геоэкологии, адаптации к изменениям климата и управления климатическими рисками.

4. Задачи дисциплины (модуля):

– сформировать представление о климате как о сложной нелинейной системе, о естественных и антропогенных драйверах современных изменений климата, о глобальных биогеохимических циклах парниковых газов и их роли в радиационном балансе Земли, а также о сценариях изменения климата в будущем и связанных с ними неопределенностях;

– обеспечить владение современными методами климатического мониторинга (наземные сети, спутниковое зондирование, системы глобального мониторинга за парниковыми газами, палеоклиматические прокси-данные), а также базовыми подходами к параметризации потоков CO2 и CH4 в экосистемах суши (эмпирические и экосистемные модели, данные глобальных и региональных сетей наблюдений);

– научить критически анализировать и интерпретировать данные дистанционного и наземного мониторинга, оценивать вклад природных и антропогенных факторов в региональные и глобальные климатические тренды, применять модели потоков парниковых газов для решения задач углеродного баланса территорий, а также формулировать обоснованные предложения в области адаптации и смягчения изменений климата с использованием принципов количественной оценки, отчетности и независимой проверки данных.

5. Перечень разделов (тем) дисциплины (модуля) и их краткое содержание:

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	**Краткое содержание**
Раздел 1. Климат как система: определение, структура и климатообразующие факторы	Теоретические основы современной климатологии и системного подхода к изучению климатической системы Земли. Структура климатической системы, механизмы ее функционирования и основные климатообразующие факторы различной природы. Процессы формирования радиационного и энергетического баланса планеты, роль парниковых газов и естественных обратных связей в регулировании климатических условий. Особенности климата как сложной нелинейной динамической

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	системы, характеризующейся взаимодействием процессов различного пространственного и временного масштаба.
Раздел 2. Палеоклиматические исследования и реконструкция климатической изменчивости в прошлом**.**	Ттеоретические основы и методологические подходы к реконструкции климатических условий прошлого на основе природных архивов климатической информации, включая ледяные керны, донные отложения водоемов, дендрохронологические материалы и другие палеоклиматические источники. Возможности и ограничения различных климатических прокси-индикаторов (δ18O, δ13C, пыльцевые спектры, годичные кольца деревьев и др.) для количественной оценки параметров окружающей среды в прошлом и их привязки к геохронологическим шкалам. Реконструкция крупных климатических событий и периодов естественной климатической изменчивости голоцена и позднего плейстоцена, анализ механизмов, определявших их развитие. Роль палеоклиматических данных в изучении закономерностей функционирования климатической системы, верификации климатических моделей и оценке вклада антропогенных факторов в современные климатические изменения.
Раздел 3. Центры действия атмосферы и моды климатической изменчивости	Постоянные и сезонные центры действия атмосферы (Азорский максимум, Алеутский минимум, Сибирский антициклон и др.). Крупномасштабные моды изменчивости: Эль-Ниньо - Южное колебание (ENSO), Североатлантическое колебание (NAO), Арктическое колебание (AO) и Тихоокеанское декадное колебание (PDO). Анализ их влияния на глобальный перенос тепла, влаги и аномалии погоды в разных регионах. Методы индексации этих мод и их связь с современными климатическими трендами.
Раздел 4. Современные методы климатического мониторинга и системы наблюдений	Принципы организации современной системы метеорологических и климатических наблюдений, включающей наземные, аэрологические и спутниковые средства

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	измерений. Анализ международных стандартов проведения наблюдений, методы обеспечения сопоставимости измерений и формирования долговременных климатических рядов данных. Подходы к обеспечению однородности климатических рядов, контролю качества и восстановлению пропусков в наблюдениях, а также использование глобальных климатических баз данных и реанализов для изучения изменений климатической системы. Физические основы дистанционного зондирования Земли и принципы получения климатически значимой информации на основе спутниковых наблюдений. Возможности современных спутниковых миссий для мониторинга температуры поверхности, радиационных характеристик, состояния криосферы, растительного покрова, аэрозолей и других компонентов климатической системы. Интеграция наземных и спутниковых данных, методы валидации и интеркалибровки измерений, а также формирование комплексных климатических продуктов, используемых для анализа современных климатических изменений и верификации климатических моделей.
Раздел 5. Биогеохимические циклы углерода, азота и воды в системе суша - океан - атмосфера	Глобальные циклы C, N, H_2O с количественными оценками биогеохимических потоков вещества между основными резервуарами системы. Анализ механизмов обмена между резервуарами: фотосинтез и дыхание (суша), газообмен CO2 на границе океан–атмосфера, карбонатная система океана, эмиссия CH4 из заболоченных земель и многолетней мерзлоты. Изменение балансов под влиянием антропогенных выбросов и глобального потепления.
Раздел 6. Влияние изменений климата на динамику растительности и потоки парниковых газов между земной поверхностью и атмосферой	Современные и прогнозируемые изменения структуры и пространственного распределения растительного покрова под воздействием климатических факторов, включая смещение границ природных зон, изменение фенологических характеристик растительности

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	и трансформацию продуктивности экосистем различных природных регионов. Анализ влияния экстремальных климатических явлений и природных нарушений (засух, пожаров, деградации многолетнемерзлых пород и других факторов) на интенсивность и направленность обмена CO2, CH4 и N2O между наземными экосистемами и атмосферой. Механизмы климато-биосферных обратных связей, включая температурную зависимость процессов дыхания, минерализации органического вещества и вовлечения ранее депонированного органического углерода.
Раздел 7. Система глобального мониторинга парниковых газов	Теоретические и методические основы организации систем мониторинга потоков парниковых газов между наземными экосистемами и атмосферой. Анализ принципов построения сетей наблюдений и измерительных комплексов, предназначенных для оценки обмена веществом и энергией между подстилающей поверхностью и атмосферой. Методы определения составляющих теплового и водного баланса экосистем, включая применение тепло-балансовых станций, лизиметрических комплексов и градиентных подходов к оценке турбулентного переноса тепла и влаги. Современные методы количественной оценки потоков парниковых газов (CO2, CH4 и N2O), включая камерные методы, микрометеорологические методы, основанные на анализе вертикальных градиентов концентраций, а также метод турбулентных пульсаций (eddy covariance). Физические основы данных методов, используемые теоретические предпосылки, ограничения применимости и основные источники неопределенности измерений. Анализ принципов организации полевых измерений, состав и характеристики измерительного оборудования, методы определения зоны влияния (footprint) и оценки репрезентативности получаемых данных.

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	Современные подходы к обработке, контролю качества и интерпретации результатов наблюдений с использованием специализированного программного обеспечения. Роль международных и национальных программ мониторинга парниковых газов, а также значение долговременных измерений для изучения углеродного цикла, оценки функционирования экосистем и верификации моделей биогеохимического обмена между сушей и атмосферой.
Раздел 8. Потоки парниковых газов в основных экосистемах суши	Систематизация данных по бореальным лесам, криолитозоне, умеренным лесам, степям, саваннам, тропическим лесам и агроценозам. Оценка характеристики потоков парниковых газов (CO2, CH4 и N2O). Анализ факторов внутригодовой и межгодовой изменчивости (температура, влажность, тип почв, нарушенность). Роль различных экосистем в глобальном бюджете парниковых газов и критические зоны неопределенности (например, тропики и Арктика). Пподходы к пространственному масштабированию точечных измерений.
Раздел 9. Микроклиматические процессы и их роль в функционировании экосистем в условиях климатических изменений	Закономерности формирования микроклиматических условий и их пространственная изменчивость под влиянием рельефа, особенностей подстилающей поверхности, растительного покрова, почвенных свойств и антропогенно трансформированных ландшафтов. Анализ механизмов формирования локальных температурных, радиационных и гидротермических режимов, а также их связь с процессами энерго- и массообмена между поверхностью и атмосферой. Ссовременные методы исследования и мониторинга микроклимата, включая инструментальные наблюдения, автоматизированные системы регистрации параметров среды и методы дистанционного зондирования. Роль микроклиматической

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	неоднородности в формировании локальных откликов экосистем на глобальные климатические изменения.
Раздел 10. Моделирование потоков парниковых газов: от эмпирических моделей до динамических экосистемных моделей	Концептуальные, эмпирические, процесс-ориентированные и динамические модели функционирования наземных экосистем. Анализ подходов к моделированию обмена CO2, CH4 и N2O между земной поверхностью и атмосферой, включая модели фотосинтеза, дыхания, разложения органического вещества и динамики углеродных пулов. Динамические модели глобальной растительности (Dynamic Global Vegetation Models, DGVM) и модели земной системы (Earth System Models, ESM), используемые для оценки обратных связей между климатом и биосферой. Методы интеграции наземных наблюдений и данных дистанционного зондирования Земли в моделях углеродного цикла и потоков парниковых газов. Анализ подходов к калибровке, параметризации и валидации моделей на основе данных сетей Fluxnet, национальных систем мониторинга и карбоновых полигонов. Обсуждение источников неопределенности модельных оценок, вопросы масштабирования результатов и переносимости параметров между различными типами экосистем.
Раздел 11. Глобальные климатические модели (GCM) и климатические проекции	Теоретические основы численного моделирования климатической системы Земли и современные подходы к построению глобальных климатических моделей (General Circulation Models, GCM) и моделей системы Земли (Earth System Models, ESM). Анализ принципов математического описания взаимодействий между атмосферой, океаном, криосферой, поверхностью суши и биогеохимическими циклами, а также методы параметризации процессов, не разрешаемых модельной сеткой, включая облакообразование, конвекцию, турбулентный обмен и взаимодействие поверхности с атмосферой. Влияние пространственного и

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	временного разрешения моделей на качество воспроизведения климатических процессов. Современные сценарии социально-экономического развития и изменения концентраций парниковых газов (SSP–RCP), используемые для построения климатических проекций. Анализ методов регионализации климатической информации, а также подходы к оценке неопределенностей модельных прогнозов на основе ансамблей моделей проектов CMIP. Прогнозируемые изменения температурного режима, гидрологического цикла, экстремальных климатических явлений, крупномасштабной атмосферной и океанической циркуляции, а также обратных связей климатической системы в XXI веке.
Раздел 12. Адаптация и смягчение изменений климата: методы оценки, мониторинг эффективности и углеродное регулирование	Международные и национальные механизмы регулирования выбросов парниковых газов, включая инструменты национальных инвентаризаций в рамках РКИК ООН и методологические подходы МГЭИК (Tier 1–3). Анализ современных методов количественной оценки эффективности мер по адаптации к изменениям климата и проектов по сокращению выбросов и увеличению поглощения парниковых газов. Подходы к мониторингу, отчетности и верификации климатических проектов (MRV), включая использование данных дистанционного зондирования Земли, наземных наблюдений и результатов математического моделирования для оценки углеродного баланса территорий и климатических эффектов природных и технологических решений. Научные и прикладные задачи карбоновых полигонов как элементов национальной системы мониторинга потоков парниковых газов, верификации методов оценки углеродного баланса и разработки климатических проектов. Концепции достижения углеродной нейтральности (net-zero), углеродных единиц, углеродных рынков и природно-климатических

Наименование раздела (темы) дисциплины (модуля)	Краткое содержание
	решений (nature-based climate solutions), перспективы их использования в целях смягчения последствий климатических изменений и устойчивого управления природными ресурсами.

6. Образовательные результаты освоения дисциплины (модуля):

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-2. Способен выбирать и использовать современные методы исследования, осваивать новые методы и техники исследования для решения задач мониторинга и оценки геоэкологического состояния компонентов природной среды	ИПК-2.1. Выбирает современные методы исследования для решения задач мониторинга и оценки геоэкологического состояния компонентов природной среды
	ИПК-2.2. Умеет использовать современные методы исследования для решения задач мониторинга и оценки геоэкологического состояния компонентов природной среды
	ИПК-2.3. Осваивает новые методы и техники исследования для решения задач мониторинга и оценки геоэкологического состояния компонентов природной среды
ПК-3. Способен планировать и проводить комплексные экспериментальные исследования, критически анализировать, обобщать, интерпретировать полученные экспериментальные данные и на их основе прогнозировать трансформацию природных и антропогенных экосистем	ИПК-3.1. Умеет планировать и проводить комплексные экспериментальные исследования с использованием высокотехнологичного лабораторного оборудования
	ИПК-3.2. Владеет методами анализа полученных экспериментальных данных
	ИПК-3.3. Критически анализирует, обобщает, интерпретирует полученные экспериментальные данные и на их основе прогнозирует трансформацию природных и антропогенных экосистем
ПК-5. Способен применять на практике инновационные решения по разработке и управлению программами производственно-экологического мониторинга и мониторинга городской среды с учетом климатических, экологических, экономических, социальных и других ограничений	ИПК-5.1. Знает основные принципы международной и национальной климатической и экологической политики
	ИПК-5.3. Применяет на практике инновационные решения по разработке и управлению программами производственно-экологического мониторинга и мониторинга городской среды с учетом климатических, экологических, экономических, социальных и других ограничений

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-6. Способен оформлять и представлять результаты научно-исследовательской работы по идентификации, мониторингу и снижению негативного воздействия на окружающую среду и климат	ИПК-6.1. Критически анализирует и оценивает современные научные достижения, в том числе в междисциплинарных областях
	ИПК-6.2. Оценивает актуальность, достоверность, научную и практическую значимость результатов научно-исследовательской работы
	ИПК-6.3. Оформляет результаты научно-исследовательской работы в соответствии с требованиями к научным работам
	ИПК-6.4. Готовит научные публикации и представляет результаты научно-исследовательской работы в виде научных и научно-популярных докладов
	ИПК-6.5. Участвует в профессиональных дискуссиях, аргументирует свои заключения на основе анализа методологии, используемой для исследования, существующих проблем и открытых вопросов в соответствующей области, научной литературы и собственных экспериментальных данных