

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:

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ ДИНАМИКИ В ПОЧВАХ И ЛАНДШАФТАХ

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки (специальность):

06.04.02 Почвоведение

Направленность (профиль) ОПОП:

Физика, мелиорация и эрозия 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 2022 года (протокол № 1370).

1. Место дисциплины в структуре ОПОП: относится к вариативной части ОПОП Физика, мелиорация и эрозия почв; является дисциплиной по выбору.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия: В соответствии с Учебным планами ИБ и ИМ «Почвоведение» обучающиеся должны предварительно освоить следующие дисциплины:

из Базовой части: модули «Общенаучные дисциплины» - Высшая математика, Физика, Общая химия, Физическая химия, Коллоидная химия, Органическая химия, Аналитическая химия, Математическая статистика, Математическое моделирование в почвоведении;
модуль «Почвоведение» - Почвоведение, Биология почв;
модуль «Науки о почвах» - Физика почв;
Вариативная часть - Микроклиматология

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-СПК-1.	М-СПК-1.1. Решает вопросы рационального природопользования, охраны почв используя знания специализированных разделов физики, мелиорации, эрозии и охраны почв, основ смежных дисциплин	Владеть фундаментальными знаниями и практическими навыками в области количественной оценки поведения газообразных веществ и компьютерного моделирования газовой динамики в почвах ландшафтах в связи с основными почвенно-экологическими проблемами современности
М-СПК-4.	М-СПК-4.1. Проводит почвенно-агрофизические и почвенно-мелиоративные изыскания, используя современные методы математической и статистической обработки, анализа и синтеза полевых и лабораторных данных, проведения прогнозных расчетов, составления тематических карт состояния почвенного покрова	Владеть методологией количественной оценки и моделирования газовой функции почв и ландшафтов, углеродного газообмена по отношению к атмосфере, а также исследования углеродного баланса и его деструкционной составляющей с использованием данных о газовой динамике в почвах и ландшафтах

4. **Объем дисциплины:** 2 з.е., в том числе 24 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем, 48 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

5. **Формат обучения** смешанный, часть обучения имеет возможность проведения с использованием дистанционных образовательных технологий, а также иных образовательных, научно-исследовательских и научно-производственных технологий:

- проведение дискуссий на семинарских занятиях;
- использование средств дистанционного сопровождения учебного процесса и онлайн-консультаций;
- защиты результатов в форме научных докладов и презентаций;
- применение современного программного обеспечения, физически обоснованных математических моделей.
- включение студентов в проекты НИР и НИОКР.

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 <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (семинары)	Занятия семинарского типа (лабораторные)	Занятия семинарского типа (практические)	Всего	Работа с рекомендованными литературными источниками; подготовка к ответам на семинарах; написания рефератов	Работа с рекомендованными литературными источниками; и компьютерными софтами; подготовка к контрольной	Всего
Раздел 1. Физические механизмы и модели газовой динамики в почвах и ландшафтах	18	8	2			10	4	4	8
Тема 1. Физические показатели, процессы и механизмы газовой динамики в почвах и ландшафтах		4					2	2	
Тема 2. Процессные модели газовой динамики в атмосфере,		4	2				2	2	

почвах и ландшафтах									
	Тестирование знаний: ответы на тесты и расчетные задания контрольных работ с использованием ПК; оценка рефератов								
Раздел 2. Ландшафтный уровень исследования газовой динамики	51	10	4			14	20	17	37
Тема 1. Полевые исследования и ГИС-экстраполяционная оценка газовых потоков на уровне ландшафта		2					4	3	
Тема 2. Преимущественный транспорт газов в гидроморфных ландшафтах и его моделирование.		2					4	3	
Тема 3. Микрометеорологические методы измерения потоков газов из почвы		2	2				4	3	
Тема 4. Метод обратной задачи (inverse modeling) для оценки газовых потоков.		2	2				4	4	
Тема 5. Современные методы статистики и прикладной математики в моделировании		2					4	4	

газовой динамики ландшафтов.									
Форма текущей аттестации по разделу №4	Тестирование знаний: ответы на тесты и расчетные задания контрольных работ с использованием ПК; оценка рефератов								
Промежуточная аттестация	Зачет						3		
Итого:	72								

Подробное содержание разделов и тем дисциплины:

Раздел 1. Физические механизмы и модели газовой динамики в почвах и ландшафтах

Тема 1: Физические показатели, процессы и механизмы газовой динамики в почвах и ландшафтах.

Объемные и массовые показатели содержания компонента газовой фазы, способы их выражения (проценты, ppm, ppb, г/м³) и взаимосвязь на основе уравнения состояния идеального газа. Газы и пары, их содержание и распределение в атмосфере, почвах и ландшафтах; барометрическая формула. Взаимодействие газов с жидкой и твердой фазами (растворение, сорбция – равновесный и кинетический подходы). Роль межфазных взаимодействий в состоянии газообразных веществ в автоморфных и гидроморфных почвах и ландшафтах; запасы (пулы) газов в почвах и способы их количественной оценки. Биогенные источники/стоки газообразных веществ в почвах и ландшафтах. Потоки газообразных веществ (феноменологический подход); физические механизмы транспорта газообразных веществ в атмосфере, почвах и ландшафтах; вклады изотермической диффузии и конвекции и их количественная оценка (моделирование).

Тема 2: Процессные модели газовой динамики в атмосфере, почвах и ландшафтах.

Базовая процессная модель динамики газообразного вещества; понятие об уравнении неразрывности, начальной краевой задаче, стационарных состояниях и их устойчивости, аналитических и численных решениях.

Моделирование динамики газовых примесей в атмосфере. Прямые задачи оценки воздействия источников газообразных и аэрозольных загрязнений на почвы и обратные задачи идентификации почв как источников/стоков газов. Атмосфера в покое и в движении (ламинарный и турбулентный поток). Уравнение турбулентной диффузии и дополнительные условия к нему. Типы граничных условий. Постановка краевой задачи в одномерном случае. Простые задачи диффузии по Фику: мгновенные точечный, и неограниченные линейный и плоский источники; непрерывный точечный источник, непрерывный безграничный линейный источник (перпендикулярный ветру). Ограничения и приближения простых задач диффузии. Проблемы структуры ветра вблизи поверхности.

Структура планетарного пограничного слоя. Стратификация атмосферы. Параметр шероховатости. Пограничный слой атмосферы при стационарных условиях. Структура приземного подслоя. Расчет основных характеристик приземного подслоя. Суточная динамика структуры атмосферного пограничного слоя. Учет динамики турбулентного обмена в теории суточных колебаний. Загрязнение нижних слоев атмосферы и почвы дымом, поступающим из фабричных труб. Подходы к вычислению коэффициента турбулентной диффузии: при безразличной стратификации; по классу атмосферной стабильности; по теории Монино-Обухова.

Газовая динамика в модельных и реальных пористых средах. Балансовые модели, численное интегрирование газовых профилей, учет межфазных взаимодействий. Балансовая модель динамики CO₂ с расчетом gross-продуцирования в объеме по данным о динамике концентраций и потоках на верхней и нижней границе (на примере Больших Лизиметров МГУ). Процессные кинетические модели динамики парниковых газов в почвах; определение параметров массопереноса и трансформации газов по стационарным газовым профилям. Аналитические и численные методы решения начально-краевых задач, их реализация в системе MATLAB; расчет gross-продукции углеродсодержащих газов по данным о динамике газовых профилей. Прогноз газовых эмиссий на основе эмпирических и процессных моделей, дискуссионные вопросы газообмена на границе почв и атмосферы и современные направления исследований в данной области.

Совместный транспорт тепла, влаги и диоксида углерода в распределенных пористых средах. Компьютерная среда HYDRUS-1D и ее возможности для моделирования газообмена почвы с окружающей средой в переменных термодинамических условиях (на примере CO_2). Описание совместного транспорта водных растворов, газов и тепла в распределенной системе «почва-растение-атмосфера» Понятие о термодинамических функциях водоудерживания, влагопроводности, температуропроводности, диффузивности и межфазного обмена газов, растительного эвапотранспирационного переноса описание микробного и корневого источников CO_2 в почвах, влияния на них температуры, влажности, удаления от поверхности почвы. Выбор граничных условий. постановка начально-краевой задачи совместного водного и газового транспорта; подключение дополнительных блоков (теплого, растительного). Проведение поливариантных численных экспериментов; оценка чувствительности эмиссии CO_2 к почвенно-биоклиматическим контролирующим факторам. Понятие о 2/3-D моделировании в связи с проблемами преимущественного массопереноса влаги и газообразных веществ в распределенных пористых средах ландшафтного уровня.

Раздел 2. Ландшафтный уровень исследования газовой динамики

Тема 1: Полевые исследования и ГИС-экстраполяционная оценка газовых потоков на уровне ландшафта.

Полевые измерения удельного потока камерным методом. Ручные и автоматические камеры. Статические и динамические камеры. Простейшая теория статической камеры (при накоплении в ней газа). Потребление газа в статической камере. Стационарный режим динамической камеры, время установления стационарного состояния в динамической камере.

Карбоновые полигоны в РФ для полевых исследований газовых потоков из типичных ландшафтов.

Недостатки камерного метода: изменение естественных условий среды в камере (температура, влажность, освещенность, скорость ветра, поток воды в почве), локальность измерений. Задача пространственно-временной экстраполяция газовых потоков. Простейшая инвентаризация годовой эмиссии газа на уровне региона (с учетом площади ландшафта, удельного потока газа и периода эмиссии в течение года). Реальная стоимость камерного метода и задача минимизации стоимости региональной инвентаризации. Экстраполяция эмиссии на основе регрессионных связей с факторами внешней среды. Экстраполяция на основе физически и биологически обоснованных (process-based) моделей почвенной газодинамики. Примеры процессно-ориентированных моделей, их основные подмодели.

Методы искусственного интеллекта в приложении к задаче пространственно-временной экстраполяция газовых потоков. Нейронные сети.

Тема 2: Преимущественный транспорт газов в гидроморфных ландшафтах и его моделирование.

Преимущественный (локальный) транспорт. Конвективные потоки. Перенос газообразных веществ по градиенту пневматического давления. Нелинейное уравнение конвекции. Воздухопроницаемость, ее связь с пористостью аэрации (формула Козени-Кармана). Преимущественные потоки на полигонах захоронения твердых бытовых отходов.

Перенос с током воды (в растворенном состоянии и в виде газо-жидкостной смеси). Ламинарное движение жидкости в цилиндрической поре (критерий ламинарности, капиллярный закон Стокса, уравнение Гагена-Пуазейля). Движение газированной жидкости в пористой среде. Газовые сипы и гипотезы их происхождения. Моделирование переноса газа в сипах: особенности движения газо-жидкостной смеси.

Пузырьковый транспорт и подходы к его математическому моделированию. Перенос, связанный с растениями: гипотезы, объясняющие его механизм и подходы к математическому описанию.

Сравнительная оценка роли диффузионных и конвективных механизмов массопереноса.

Тема 3: Микрометеорологические методы измерения потоков газов из почвы.

Зачем нужны распределенные методы измерения потоков (недостатки точечных методов)? Неоднородность ландшафта как основная причина различия потоков. Причины неоднородности газовых потоков на относительно однородных ландшафтах.

Что такое микрометеорология? Метод «гигантской камеры» («inversion trap technique»). Градиентный метод (Aerodynamic or Profile Method). Методы “eddy accumulation” (“conditional sampling”) и «Relaxed Eddy Accumulation» (REA). Метод “eddy correlation”.

Метод «eddy covariance» («микро-вихревых пульсаций») – основной современный микрометеорологический метод. Понятие о микровихрях в атмосфере. Суточная динамика пульсаций вертикальной скорости ветра и концентрации примеси. Вывод основной формулы метода «Eddy Covariance». Практические формулы для разных потоков. Оборудование для Eddy Covariance. Программы для обработки первичных данных. Коррекция данных (зачем нужна коррекция? коррекции, реально используемые для обработки первичных данных, схема применения коррекций). Области применения Eddy Covariance. Понятие о футпринте («области влияния»). Сопутствующие измерения: суммарная солнечная радиация, коротковолновая радиация, поток тепла на границе почва/атмосфера, фотосинтез, поток CO₂ из почвы и др. Мировая сеть Eddy Covariance.

Кратко о других микрометеорологических методах (Disjunct Eddy Covariance, Relaxed Eddy Accumulation with injections, Mass balance for small areas, Surface renewal method, Control volume, Boundary layer tower, Virtual towers).

Тема 3: Метод обратной задачи (inverse modeling) для оценки газовых потоков.

Виды математических задач: прямые и обратные задачи. Понятие о «методе обратной задачи» (“inverse modelling”). Обобщенный алгоритм метода обратной задачи при идентификации потока на границе «почва/атмосфера».

Общее уравнение метода обратной задачи (ОБУМОЗ) при идентификации потока на границе «почва/атмосфера». Характерные величины отдельных членов ОБУМОЗ. Допустимые упрощения ОБУМОЗ на основе анализа величины отдельных членов. Реализация метода обратной задачи на примере простейшего одномерного уравнения вертикального турбулентного переноса.

«Область влияния» (footprint, футпринт): элементы теории расчета. Интегральная и дифференциальная формы футпринта. Зависимость футпринта от высоты вышки и атмосферной стратификации. Способы экспериментальной проверки правильности расчета футпринта для данных условий.

Трудности «метода обратной задачи». Проблемы, связанные с футпринтом. Неопределенность, обусловленная погрешностью математических моделей переноса примеси. Зависимость погрешности измерений от метеорологических условий.

Глобальное применение «метода обратной задачи». Простейшая реализация метода в глобальном масштабе. Использование разнородной информации для повышения точности глобальных оценок. Перспективы технологического развития метода: лидарные и спутниковые измерения концентраций газов.

Тема 5: Современные методы статистики и прикладной математики в моделировании газовой динамики ландшафтов.

Понятие о корректных и некорректных задачах. Обусловленность задачи: задачи хорошо обусловленные и плохо обусловленные. Методика проверки обусловленности сложных моделей. Примеры плохо обусловленных задач. Разная обусловленность решения одной и той же задачи различными методами (на примере линейных анаморфоз уравнения Михаэлиса-Ментен). Элементы теории чувствительности. Регуляризация решения при помощи линейной регрессии с весами (типы весов: определяемые линеаризующим преобразованием или погрешностью).

Обобщенная линейная регрессия в интерпретации данных измерений и моделировании. Мультиколлинеарность как причина плохой обусловленности. Методы регуляризации в случае мультиколлинеарности: полный перебор и пошаговая регрессия.

Нелинейная регрессия и функции для ее реализации в MATLAB: без ограничений, с ограничениями на значения параметров (положительность параметров и связи между параметрами), с учетом неравноточности измерений. Особенности борьбы с мультиколлинеарностью в случае нелинейной регрессии: метод группового учета аргументов. Главные проблемы при использовании нелинейной регрессии: выбор начального приближения и многоэкстремальность минимизируемой функции отклонений. Частный способ решения этих проблем – метод опорных функций. Общие методы решения: метод продолжения при выборе начального приближения и методы поиска глобального минимума.

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

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

Примеры тестов:

1. Интенсивность диффузии всегда выше, чем конвекции газов
да _____ нет _____
2. Естественная конвекция происходит по причине разных плотностей газов в поле силы тяжести
да _____ нет _____
3. Термодиффузия существенно превышает по интенсивности изотермический массоперенос для молекул CO_2
да _____ нет _____

4. Коэффициент диффузии газов в воде в 10000 раз меньше, чем в воздухе
да _____ нет _____
5. При одинаковой точности на измерение удельного потока методом статической камерой всегда уйдет больше времени, чем методом динамические камеры в стационарном режиме.
да _____ нет _____
6. Чтобы получить единственное решение уравнения турбулентной диффузии примеси в атмосфере достаточно (в качестве дополнительного условия к нему) задать начальное условие.
да _____ нет _____
7. Приземный слой составляет часть пограничного слоя атмосферы.
да _____ нет _____
8. Метод «микро-вихревых пульсаций» входит в группу микрометеорологических методов.
да _____ нет _____
9. Пульсаций вертикальной скорости ветра и концентрации примеси в атмосфере постоянны в течение суток.
да _____ нет _____
10. Размер футпринта зависит от высоты вышки и атмосферной стратификации
да _____ нет _____

Примеры задач для контрольных работ:

КР№ _____ (Ф.И.О.) компьютер № _____

1. В статической камере высотой $h=10\text{см}$, установленной на поверхности почвы, произведены замеры концентраций CO_2 :

время,с	0	5	10	15	20	25	30	35	40
C, ppm	444	455	462	472,9	482	495	503	520	531

Рассчитать удельный поток CO_2 (эмиссию), если температура воздуха в камере составила 20°C , а давление 100 кПа.

Ответ: $Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мг/м}^2/\text{час}$

2. В динамической камере с площадью основания $S=1600 \text{ см}^2$, установленной на поверхности почвы, производятся замеры концентраций CH_4 на выходе (C)

время,с	0	5	10	15	20	30	60	120	240
C, ppm	4.44	4.45	4.62	4.29	4.20	4.50	4.50	4.52	4.31

Считая, что камера находится в стационарном состоянии и на входе в нее концентрация CH_4 в процессе всего измерения составляет 2.00 ppm, рассчитать удельный поток CH_4 (эмиссию), если температура воздуха в камере составила 20°C , давление 100 кПа, а скорость прокачки воздуха через камеру 200 мл/мин.

Ответ: $Q = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мг/м}^2/\text{час}$

3. Модель динамики концентрации CO_2 в автоморфной почве (C) предполагает сочетание диффузии и функции источника, экспоненциально убывающего с глубиной при условиях постоянства концентрации в атмосфере и нулевого градиента концентрации на удалении от поверхности:

$$\Gamma \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + U \exp(-bz); \quad C|_{z=0} = C_0; \quad \frac{\partial C}{\partial z}|_{z \rightarrow \infty} = 0$$

Дано стационарное профильное распределение концентраций CO_2 :

z, м	0	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1
C, г/м ³	0,6	2,3	3,9	4,8	6,1	6,2	6,6	6,8

Используя программу S-Plot, произвести аппроксимацию распределения стационарным вариантом указанной выше модели и по полученным параметрам аппроксимации рассчитать величины источника CO_2 у поверхности (U) и gross-продукцию CO_2 всей почвенной толщ. Значение эффективного коэффициента диффузии D, взять из экспериментальных данных по практикуму в состоянии воздушно-сухой почвы.

Ответ: параметры аппроксимации $C_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ г/м³, $a = U/Db^2 \underline{\hspace{2cm}}$ г/м³,

$b = \underline{\hspace{2cm}}$ м⁻¹, $U = \underline{\hspace{2cm}}$ г/м³/час, $U_\infty = \underline{\hspace{2cm}}$ мг/м²/час

4. Используя программу MATLAB и модель из предыдущей задачи с полученными в ней параметрами, воспроизвести динамику газового профиля и оценить время его выхода на равновесное (стационарное) состояние. Ретардационный фактор Γ считать равным 1.

Ответ: время формирования стационарного профиля не менее сут.

(показать преподавателю расчеты в Matlab)

5. С использованием компьютерной модели HYDRUS-1D рассчитать совместную динамику влажности и концентраций CO_2 в почвенном профиле глубиной $h=100$ см в течение 100 сут (2400 часов) с интервалами 1, 12, 24, 48, 96, 192, 768, 1536, 2400 часов, гидрофизическими параметрами модели ван-Генухтена из базы данных софта для супеси (sandy loam), граничными условиями постоянного нулевого потока влаги на поверхности и свободного оттока на нижней границе профиля при исходном насыщении всей почвенной толщи до полной влагоемкости, эффективных коэффициентах диффузии CO_2 в атмосфере и воде 572.4 и 0,0637 см²/час, коэффициенте дисперсии 5 см, условиях постоянной концентрации CO_2 в атмосфере (440 ppm) и нулевого градиента концентрации на нижней границе профиля, заданными параметрами микробной и корневой газогенерации: БД=0,42 см/час, КД= 0,28 см/час, энергии активации Аррениуса 6677 (микроорганизмы) и 6014 Дж/моль (корни), константы Михаэлиса 0,19 (микроорганизмы), 0,14 см³/см³ (корни), оптимального и критического давления влаги -100 и -10⁶ см. вод. ст., коэффициентах слоевого стресса $p=3$ и $h_{50}=1000$ см, константы экспоненциального распределения микроорганизмов 0,105 см⁻¹. Визуально по графиками динамики газового профиля оценить максимальное содержание CO_2 и время, когда оно достигается. Влиянием температурного режима и корневого водопотребления пренебречь.

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

1. Основные показатели физического состояния газообразных компонентов в атмосфере, почвах и ландшафтах.
2. Взаимодействие газов и паров с растворами; его количественное описание.
3. Фундаментальные равновесные и кинетические модели сорбции газов и паров в почвах.
4. Роль межфазных взаимодействий в количественной оценке биогенных источников и стоков газообразных веществ в почве.
5. Изотермическая диффузия, термодиффузия, турбулентная диффузия газообразных веществ в атмосфере и пористых средах.
6. Пористость аэрации, эффективный коэффициент диффузии и воздухопроницаемость почвы.
7. Конвективные механизмы распределения газов и паров в почвах и ландшафтах.
8. Базовая модель динамики состояний газов и паров в распределенной физической системе. Постановка начально-краевой задачи; аналитические и численные методы решения в системе Matlab).
9. Понятие об экологической газовой функции почв и ландшафтов, принципах ее оценки и моделирования. Углеродный баланс масштабных территорий, проблемы его количественной оценки и моделирования.
10. Динамика запасов газа в почве и балансовая модель для расчета газогенерации в почве на ее основе (на примере CO_2)
11. Совместное описание транспорта влаги и CO_2 в компьютерной среде HYDRUS-1D.
12. Описание биогенных источников CO_2 и контролирующих их факторов в компьютерной среде HYDRUS-1D.
13. Турбулентный газообмен почв и атмосферы; микрометеорологические модели и методы оценки газовых потоков на границе почв и атмосферы ландшафтного уровня.
14. Прямые и обратные задачи моделирования. «Метод обратной задачи» (“inverse modelling”). Обобщенный алгоритм метода обратной задачи при идентификации потока на границе «почва/атмосфера». Перспективы технологического развития метода: лидарные и спутниковые измерения концентраций газов.
15. Общее уравнение метода обратной задачи при идентификации потока на границе «почва/атмосфера». Характерные величины членов уравнения. Допустимые упрощения.
16. «Область влияния» (footprint, футпринт). Интегральная и дифференциальная формы футпринта. Зависимость футпринта от высоты вышки и атмосферной стратификации. Способы экспериментальной проверки правильности расчета футпринта для данных условий.
17. Газовые сипы: их типы, происхождение, распространение в мире и в России, особенности транспорта газов.
18. Перенос газов растениями: особенности газотранспортной системы растений, подходы к математическому моделированию переноса такого типа, значение в гидроморфных ландшафтах (сравнение с интенсивностью других типов транспорта).
19. Первые результаты реализации программы «карбоновых полигонов» в России.
20. Мировые и иностранные региональные сети измерений потоков парниковых газов. Современные спутники для измерения концентраций газов в атмосфере.

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 РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания Виды оценочных средств: ответы на семинарах, контрольные работы.	Отсутствия знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения Виды оценочных средств: написание и защита рефератов на заданную (дискуссионную) тему	Отсутствия умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение

9. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1999, 2005. 301 с. Шифр: 3УБ5, С-500; <http://docplayer.ru/32013004-A-v-smagin-gazovaya-faza-pochv.html>
 Теории и методы физики почв. М.: Гриф и К, 2007. 616с. Шифр: 3УБ5, Т-338
 Смагин А. В. Почвенные режимы функционирования и их мониторинг: учеб. пособие МГУ им. М. В. Ломоносова. М. : Юстицинформ, 2020 . Шифр: 3УБ5, С-500

Дополнительная литература.

Смагин А.В. Молекулярные межфазные взаимодействия газов и паров в почвах: учеб. пособие. МГУ им. М. В. Ломоносова. М. : Юстицинформ, 2020. Шифр: 3УБ5, С-500
 Глаголев М.В., Смагин А.В. Приложения MATLAB для численных задач биологии, экологии и почвоведения. М.: Изд-во Моск.ун-та, 2005, 200с. Шифр: 3Ф, Г-521

Глаголев М.В., Фаустова Е.В., Сабреков А.Ф., Терентьева И.Е. Численное решение уравнений биокинетики в курсах «Общая экология» и «Моделирование биологических процессов» Т.1. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: КДУ «Университетская книга», 2018. Шифр: 3Ф, Ч-671

Глаголев М.В., Сабреков А.Ф., Казанцев В.С. Физикохимия и биология торфа. Методы измерения газообмена на границе почва-атмосфера: учеб. пособие. Томск Изд-во Том. гос. пед. ун-та, 2010. Шифр: 3УБ5, Г-521

Рубин А. Б. Биофизика: Учеб. для студентов вузов в 2 т. М. : Изд-во Моск.ун-та, 2004. Шифр: 3ФГ, Р-823

Сысуев В. В.. Моделирование процессов в ландшафтно-геохимических системах М. : Наука, 1986. Шифр: 3ТК4, С-956

Свирижев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М. : Наука, 1987. Шифр: 3Ф, С-247

Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы. М.: Агропромиздат, 1986. Шифр: 3УБ5, В-128

Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. М.: Химия, 1989; М. : Альянс, 2009 Шифр: 3ЕН, Ф-912; <http://en.bookfi.net/book/636291>

Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Издательство Московского ун-та, 2005. 430с. Шифр: 3УБ5, Ш-395; <http://www.iprbookshop.ru/13172.htm>

- Перечень лицензионного программного обеспечения: MS EXCEL-2016, SIGMA-PLOT-11, MATLAB-7,
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем: <https://earth.google.com/web/>
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости): <http://aircondi.h1.ru/>, www.hydrus2d.com, <http://radiomaster.ru/cad/matlab/glava1/index11.php>, <http://aircondi.h1.ru>, <http://www.bookfi.ru>, <http://ecokavkaz.ru/>
- Описание материально-технической базы

Помещения

- лекционная потоковая аудитория, оборудованная оргтехникой (проектор, компьютер, выход в Интернет);
- машинный класс с выходом в интернет для проведения семинарских и самостоятельных занятий по компьютерному моделированию, использованию современных математических моделей в физике почв, а также подготовки студентов к промежуточной и основной форме аттестации.

Оборудование:

Для лекционной и семинарской аудиторий: необходимая оргтехника, ЭВМ, выход в интернет и др.

Для демонстрационных работ на лекциях: портативные электрохимические и ИФК-анализаторы газов и паров, лабораторные диффузиметры, автоматизированные сенсоры с программным обеспечением для гидротермического мониторинга объектов окружающей среды и пр.

10. Язык преподавания: русский

11. Преподаватели:

Смагин Андрей Валентинович

Должность: профессор

Ученая степень: доктор биологических наук, 2004, ВАК РФ (когда и где присуждена)

Ученое звание: профессор, 2007, ВАК РФ (когда и где присуждена)

Глаголев Михаил Владимирович

Ученая степень: кандидат биологических наук, 2010, ВАК РФ (когда и где присуждена)

12. Разработчики программы:

Смагин Андрей Валентинович

Должность: профессор

Ученая степень: доктор биологических наук, 2004, ВАК РФ (когда и где присуждена)

Ученое звание: профессор, 2007, ВАК РФ (когда и где присуждена)

Глаголев Михаил Владимирович

Ученая степень: кандидат биологических наук, 2010, ВАК РФ (когда и где присуждена)

13. Краткая аннотация дисциплины:

Целью дисциплины является получение общетеоретических и специальных знаний по количественному описанию и моделированию поведения газов и паров в динамических биокосных системах. Задачи дисциплины включают: (1) овладение методологией количественной оценки и моделирования динамических систем в потоках веществ и энергии; (2) получение теоретических знаний о количественных критериях и физически обоснованных моделях состояния газов и паров в почвах и ландшафтах; (3) приобретение фундаментальных знаний о моделях абиотических процессов межфазных взаимодействий и транспорта газов и паров в трехфазных биокосных системах, а также закономерностях их биогенного поглощения и выделения; (4) овладение навыками компьютерного моделирования пространственно-временной динамики газов и паров в почвах и ландшафтах, их эмиссии (поглощения) на границе раздела «почва-атмосфера», трансформации и транспорта.