

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

УТВЕРЖДАЮ

и.о. декана П.В.Красильников / _____ /

« ____ » _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Математическое моделирование движения влаги в почвах

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки (специальность):

05.04.06 Экология и природопользование

Направленность (профиль) ОПОП:

Экотехнологии

Форма обучения: очная

Москва 2023

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 05.04.06 Экология и природопользование программы магистратуры.

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В.Ломоносова от 28 декабря 2020 года (протокол № 7).

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП:** *относится к вариативной части ОПОП, является курсом по выбору.*

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

Высшая математика

Физика

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
МПК-3	МПК-3.1	Владеть теорией и навыками практической работы в области математического моделирования процессов переноса в почвах Понимать, излагать и критически с помощью математических методов анализировать базовую информацию в области почвоведения; уметь самостоятельно обучаться в области математического моделирования процессов переноса в почвах Уметь количественно анализировать полученные экспериментальные и известные из литературы результаты по математическому моделированию процессов переноса в почвах.

4. **Объем дисциплины** 3 з.е., в том числе 36 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем, 72 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

5. **Формат обучения** очный

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	Занятия семинарского типа (семинары)	Занятия семинарского типа (лабораторные)	Занятия семинарского типа (практические)	Всего			Всего
Раздел 1	28	14				14			14
Тема 1	4	2				2			2
Тема 2	8	4				4			4
Тема 3	4	2				2			2
Тема 4	4	2				2			2
Тема 5	4	2				2			2
Тема 6	4	2				2			2
Форма текущей аттестации по разделу	Устный опрос в рамках занятий семинарского типа								
Раздел 2	78	10	12			22			56
Тема 1	7		2			2			5
Тема 2	7	1	1			2			5
Тема 3	7	1	1			2			5
Тема 4	7	1	1			2			5
Тема 5	7	1	1			2			5
Тема 6	7	1	1			2			5

Тема 7	7	1	1			2			5
Тема 8	7	1	1			2			5
Тема 9	7	1	1			2			5
Тема 10	7	1	1			2			5
Тема 11	6,5	0,5	1			1,5			5
Заключение	1,5	0,5				0,5			1
Форма текущей аттестации по разделу	Устный опрос в рамках занятий семинарского типа								
Промежуточная аттестация - экзамен							2		
Итого:	108	24	12			36			72

Подробное содержание разделов и тем дисциплины:

Раздел 1. Водоудерживание почв.

Тема 1. Характеристики энергетического состояния воды в почвах.

Работа и энергия. Потенциальная яма. Водоудерживающая способность почв. Энергия, приходящаяся на единицу веса и на единицу объема. Потенциал и Potential head. Измерение матричного потенциала влажной почвы. Гравитационный потенциал, гидростатический потенциал, осмотический потенциал. Составляющие потенциала почвенной влаги в насыщенных и ненасыщенных условиях.

Тема 2. Количественные показатели содержания влаги в почвах.

Объемная и весовая (массовая, гравитационная) влажность. Содержание влаги в почве при полном насыщении, остаточная влажность, диапазон подвижной почвенной влаги, эффективное насыщение. Эквивалентная мощность слоя воды. Расчеты запасов воды в почвенной толще по данным о весовой влажности и плотности отдельных слоев.

Стационарное профильное распределение влажности и матричного потенциала почвы в вертикальной колонке с закрытыми торцами. Роль гранулометрического состава почвы.

Алгоритм переходов от влажности почвы к потенциалу почвенной влаги и обратно при математическом моделировании водного режима почв.

Кривая водоудерживания (основная гидрофизическая характеристика, ОГХ) и интерпретация ее формы на основе представления о поровом пространстве почвы как наборе капилляров.

Текстурный треугольник. Распределение частиц по размерам в почвах разных текстурных классов.

Кривая водоудерживания для почв разного гранулометрического состава. Полевая влагоемкость. Влага завядания. Потенциально доступная растениям влага.

Гистерезис кривой водоудерживания. Модель «чернильницы».

Тема 3. Математическое описание кривой водоудерживания.

Уравнение Брукса и Кори. Уравнение ван Генухтена. Физический смысл параметров θ_s и θ_r .

Диапазоны изменчивости параметров уравнения ван Генухтена. Заполнение таблицы с параметрами ван Генухтена для различных текстурных классов с использованием программы RETC.

Построение в Excel кривых водоудерживания для средних параметров ван Генухтена. Изменение формы кривых водоудерживания при поочередном увеличении каждого из параметров. Физический смысл параметров n и α . Увеличение параметра α в два раза как простейший способ учесть в модели гистерезис кривой водоудерживания.

Тема 4. Определение параметров ван Генухтена по экспериментальным данным.

Метод наименьших квадратов. Программа RETC. Необходимость задания начальных значений параметров при использовании программы RETC. Расчет параметров ван Генухтена для горизонтов различного гранулометрического состава по данным измерений матричного потенциала при различных значениях влажности. Неопределенность параметра θ_r в случае глинистых почв.

Тема 5. Расчетное определение параметров ван Генухтена в отсутствие данных о потенциале при различной влажности.

Розетта – иерархическая система моделей для расчета параметров ван Генухтена по доступным базовым свойствам почвы. Точность моделей разного иерархического уровня с использованием разных наборов предикторов: названия текстурного класса; данных о

процентном содержании текстурных фракций; тех же данных и плотности почвы; тех же данных и влажности при потенциале 33 кПа; тех же данных и влажности при потенциале 1500 кПа.

Тема 6. Использование уравнения ван Генухтена.

Дифференциальная влагоемкость. Распределение пор по размерам. «Что не так с физикой почв?»

Расчет потенциально доступной растениям влаги по данным измерений матричного потенциала при различных значениях влажности. Значение матричного потенциала при влаге завядания. Значения матричного потенциала при полевой влагоемкости для почв различного гранулометрического состава. Построение в Excel столбчатой диаграммы с погоризонтными значениями потенциально доступной влаги.

Раздел 2. Моделирование движения влаги в почвах.

Тема 1. Основы работы с программой HYDRUS-1D.

Схема работы пакета HYDRUS-1D. Основные моделируемые процессы. Задание параметров времени. Задание параметров выдачи результатов. Задание начальных условий.

Гидравлические модели в пакете HYDRUS-1D. Гидравлические параметры. Граничные условия при моделировании потока влаги.

Выдачи результатов расчетов в пакете HYDRUS-1D: профильные распределения влажности и матричного давления; потоки и кумуляты потоков на границах.

Использование пакета HYDRUS-1D для получения стационарного распределения влаги в вертикальной колонке с закрытыми торцами для почв разного гранулометрического состава и плотности при различной начальной влажности. Повторение расчетов для песчаной почвы со свободным дренажом на нижней границе.

Тема 2. Постоянный поток влаги в насыщенной однородной почве.

Уравнение Дарси. Гидравлическая проводимость насыщенной почвы. Пример применения уравнения Дарси (аналитическое решение): расчеты потока через насыщенную однородную почвенную колонку с постоянным напором воды на поверхности.

Гидравлическая проводимость насыщенных почв различного гранулометрического состава. Расчеты потока в насыщенной однородной колонке с постоянным напором на поверхности в программе HYDRUS-1D.

Тема 3. Постоянный поток влаги в насыщенной слоистой почве.

Эффективная гидравлическая проводимость. Постоянный поток в насыщенной двухслойной почве (аналитическое решение).

Расчеты потока в изначально насыщенной водой двухслойной колонке в двух вариантах (песок снизу и сверху) в программе HYDRUS-1D.

Тема 4. Постоянный поток в дренах.

Расчет максимального уровня грунтовых вод в междренном пространстве при постоянной интенсивности осадков. Подбор междренного расстояния для обеспечения дренажа верхнего слоя заданной мощности при известном коэффициенте насыщенной гидравлической проводимости и заданной интенсивности осадков.

Тема 5. Постоянный поток в ненасыщенной почве.

Уравнение Бэкингема – Дарси. Ненасыщенная гидравлическая проводимость. Формулы Брукса и Кори, ван Генухтена и Муалема для ненасыщенной гидравлической проводимости. Коннективность. Макроскопическая длина капилляров.

Инфильтрация до уровня грунтовых вод при различных скоростях поступления

ирригационной воды. Функция Хаверкампа. Гравитационное движение влаги в ненасыщенной почве. Инфильтрация из кольца. Инфильтрация из скважины. Внутрипочвенный полив.

Расчеты в программе HYDRUS-1D: инфильтрация до уровня грунтовых вод для пылеватого суглинка при различной интенсивности полива.

Тема 6. Переменные потоки в почве.

Основные процессы. Основные уравнения. Уравнение Бэкингема – Дарси. Уравнение неразрывности. Уравнение Ричардса.

Начальные и граничные условия. Атмосферное условие. Граница просачивания.

Численные методы. Сеточные функции.

Дискретная форма уравнения Ричардса. Чувствительность численного решения к шагу по времени и по глубине. Переменный шаг по глубине.

Тема 7. Поступление влаги в почву.

Расчеты инфильтрации в однородную почву при задании нулевого давления («зеркала») на поверхности почвы. Резкий характер фронта промачивания для суглинистого песка. Замедление скорости промачивания и размытие фронта в глинистом суглинке. Поток через верхнюю границу в двух почвах при задании нулевого давления на верхней границе.

Расчеты инфильтрации в однородную почву при задании атмосферного граничного условия со стоком. Ограничение потока через верхнюю границу количеством поступающих осадков.

Расчеты инфильтрации в слоистую почву при задании атмосферного граничного условия со стоком. Пример: двумерная задача. Сухой песок под влажным суглинком.

Тема 8. Перераспределение влаги в почве.

Моделирование перераспределения влаги в полевых условиях после полива/дождя без учета испарения. Расчеты для почв разного гранулометрического состава.

Моделирование чередования дождя и испарения. Потоки через поверхность почвы во время осадков и в периоды между осадками. Расчеты для почв разного гранулометрического состава.

Тема 9. Моделирование эвапотранспирации.

Метод ФАО56 для оценки эвапотранспирации. Эталонная культура. Коэффициенты перехода к черному пару; к различным культурам.

Тема 10. Моделирование корневого водопотребления.

Основные уравнения с учетом корневого стока. Равенство корневого водопотребления и транспирации. Транспирационная функция ван Генухтена. Транспирационная трапеция Феддеса. Заполнение таблицы с параметрами Феддеса для различных культур.

Описание распределения корней в почвенном профиле в программе HYDRUS-1D.

Расчеты водного режима почвы при наличии растений. Соотношение между корневым водопотреблением и физическим испарением с поверхности почвы. Пример: моделирование водного баланса почвы и корневого водопотребления на хлопковом поле при использовании различных сберегающих практик.

Тема 11. Зарядка и разрядка грунтовых вод.

Расчеты подтягивания влаги из грунтовых вод для суглинистого песка и глинистого суглинка. Сравнение результатов расчетов для двух почв.

Заключение.

Общая схема расчетов водного режима почвы с помощью пакета HYDRUS-1D.

Актуальность моделирования водного режима почв.

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

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

Моделирование движения влаги в почвенных колонках.

Моделирование заливочных экспериментов.

Моделирование полива.

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

Количественные показатели содержания влаги в почве.

Потенциал почвенной влаги: физический смысл и единицы измерения. Компоненты полного потенциала почвенной влаги.

Кривая водоудерживания для почв разной текстуры, ее характерные участки.

Гистерезис кривой водоудерживания.

Потенциально доступная растениям влага в почвах различной текстуры.

Уравнение Ван Генухтена и физическая интерпретация его параметров.

Дифференциальная влагоемкость. Распределение пор по размерам.

Уравнение неразрывности. Уравнение Ричардса.

Потоки влаги и гидравлическая проводимость в насыщенных и ненасыщенных почвах.

Краевые условия на нижней границе: грунтовые воды, водоупор, свободный дренаж, граница просачивания.

Краевые условия на верхней границе: заливочные эксперименты, атмосферное условие.

Описание корневого стока в основных уравнениях движения влаги.

Метод эталонной культуры ФАО-56.

Математическое описание реакции растений на водный стресс.

Розетка.

Сеточные функции.

Расчеты параметров кривой водоудерживания по экспериментальным данным в программе RETC.

Расчеты потенциально доступной влаги по данным о потенциале при различной влажности.

Расчеты профильного распределения давления влаги и потока в насыщенной однородной колонке под напором.

Расчеты постоянного потока и давления в насыщенной двуслойной колонке под напором.

Расчеты инфильтрации при свободном дренаже и «зеркале» на поверхности для легкой почвы.

Расчеты инфильтрации при свободном дренаже и «зеркале» на поверхности для тяжелой почвы.

Расчеты инфильтрации при свободном дренаже и атмосферном условии на поверхности для легкой почвы.

Расчеты инфильтрации при свободном дренаже и атмосферном условии на поверхности для тяжелой почвы.

Расчеты инфильтрации в слоистую почву при свободном дренаже и атмосферном условии на поверхности.

Расчеты перераспределения влаги в почве при совпадении поверхности грунтовых вод с нижней границей почвенного профиля.

Расчеты инфильтрации до уровня грунтовых вод при постоянной ирригации для небольшого потока сверху.

Расчеты инфильтрации до уровня грунтовых вод при постоянной ирригации для интенсивного потока сверху.

Расчеты перераспределения влаги в почве после дождя в отсутствие испарения при свободном дренаже.

Расчеты перераспределения влаги в почве при чередовании дождя и испарения при свободном дренаже.

Расчеты перераспределения влаги в почве при наличии растений.

Расчеты максимального уровня грунтовых вод в междренном пространстве.

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) не принципиального 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 (вид оценочных средств: устный экзамен)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

9. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

Основная литература

Шеин Е.В. Курс физики почв. Изд-во Московского университета, 2005.

Шеин Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении. Учебник. 2016. 382 с.

Дополнительная литература

Теории и методы физики почв // Коллективная монография под. ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Изд-во «Гриф и К», 2007.

- Перечень лицензионного программного обеспечения: HYDRUS-1D
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
- Описание материально-технической базы: компьютерный класс, ПК, проектор, экран

10. Язык преподавания: русский

11. Преподаватель (преподаватели):

Архангельская Татьяна Александровна

Должность: профессор

Ученая степень (когда и где присуждена): дбн (16.01.2009 ВАК Минобрнауки РФ)

Ученое звание (когда и кем присвоено): доцент (14.01.2011 ВАК Минобрнауки РФ)

12. Разработчики программы:

Архангельская Татьяна Александровна

Должность: профессор

Ученая степень (когда и где присуждена): дбн (16.01.2009 ВАК Минобрнауки РФ)

Ученое звание (когда и кем присвоено): доцент (14.01.2011 ВАК Минобрнауки РФ)

13. Краткая аннотация дисциплины:

Цель курса – обучение моделированию движения влаги в почвах с использованием программного пакета HYDRUS-1D. Вводная часть курса включает краткое изложение основных представлений гидрологии почв. Используется свободно распространяемая программа HYDRUS-1D; моделируются потоки воды в однородных и слоистых почвенных колонках и в почвенном профиле. Существенную часть обучения составляет интерпретация результатов моделирования и их обсуждение в классе. Педотрансферные функции, основанные на программе ROSETTA, используются для получения параметров кривой водоудерживания по ван Генухтену для почв различной текстуры и плотности. Рассматриваются различные условия на границах, включая атмосферное. Обсуждается подход ФАО56 для оценки потенциальной эвапотранспирации. Рассматривается корневое водопотребление и функция отклика растений на водный стресс.