



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Утверждаю:
декан факультета почвоведения МГУ

_____ С.А. Шоба
«21» _____ мая _____ 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПОЧВОВЕДЕНИИ**

Направление подготовки: 06.04.02 «Почвоведение»

Авторы-составители:

Д.б.н., проф. Шейн Е.В., д.б.н., проф. Рыжова И.М.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета почвоведения МГУ, протокол № 2 от «17» мая 2018 г.

Председатель УМК _____ Рахлеева А.А.

Москва
2018 г.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО: базовая часть

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Базовые курсы «Математика», «Физика», «Химия»

Почвоведение

Химия почв

Физика почв

Биология почв

Математическая статистика

Физиология растений

Агрохимия

Общая и коллоидная химия

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников:

Компетенции выпускников, формируемые частично при реализации дисциплины (модуля):

Способность формулировать научно обоснованные гипотезы, создавать теоретические модели явлений и процессов, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности (УК-1.М).

Способность создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные математические результаты, владение знаниями об ограничениях и границах применимости моделей (ОПК-4.М)

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Студент должен:

- Знать понятия множественности моделей, следующие характеристика моделей (реалистичность, точность, общность, наглядность, модульность, способность к качественному и количественному развитию).
- Понимать особенности физически обоснованных математических моделей, их отличия от статистических и аналитических, особенности формирования почвенного блока в препроцессоре математических моделей,
- Уметь выбирать сложность модели в соответствии с целями моделирования и сложностью объекта. Использовать принципы итеративности и соответствия точности и сложности, использовать результаты постпроцессора для анализа, оценки и прогноза поведения изучаемого объекта при машинных экспериментах.
- Иметь опыт деятельности с физически обоснованными моделями, с процесс-ориентированные моделями биогеохимических циклов, моделями влаго, тепло- и солепереноса в почвах.
- Уметь организовать исследования почвенных свойств, включенных в препроцессор математических моделей, пользоваться базами данных почвенных свойств и характеристик для целенаправленного математического моделирования почвенных процессов.

4. Формат обучения: лекции, семинары

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе 54 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 54 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

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

№ п/п	Наименование разделов и тем	Трудоемкость (в академических часах) по формам занятий				Самостоятельная работа	Форма текущего контроля
		Контактная работа во взаимодействии с преподавателем (с разбивкой по формам и видам)					
		Лекции	Семинары	Практические занятия			
1	Математическое моделирование и его роль в почвенных исследованиях; специфика почв, как объекта моделирования;	1	1		4		
2	Этапы построения математических моделей сложных динамических систем.	3	3		5		
3	Источники неопределенностей в моделях.	2	2		5		
4	Динамические модели. Качественные методы исследования динамических моделей.	2	2	2	5		
5	Биогеохимических модели. Модели педогенеза.	2	2	4	5		
6	Применение математических моделей в почвоведении, агрохимии, мелиорации и экологии.	2	2	4	5		
7	Понятия о расчетных схемах и численных решениях. Сеточный метод. Возможные погрешности метода.	1	1	2	5		
8	Модели потребления и переноса веществ в растениях.	1	1	1	5		

9	Модели описания движения ионов в почвах различной сложности.	1	1	2	5	
10	Модели практического использования для оптимизации воного и теплового режимов почв: водные и тепловые мелиорации, модель HYDRUS	2	2	2	5	
11	Использование прогнозных имитационных моделей для анализа экологического риска	1	1	1	5	
Итого:		108				
Промежуточная аттестация:						Экзамен

Содержание дисциплины по разделам и темам:

ВВЕДЕНИЕ

Содержание, методы, задачи и области применения математического моделирования в почвоведении. Взаимосвязь с почвоведением, агрофизикой, инженерной геологией, мелиорацией, экологией. Основные этапы становления математического моделирования как самостоятельной научной дисциплины в области почвоведения. Исторические этапы развития метода математического моделирования.

Тема 1. Название темы для дисциплины

Математическое моделирование и его роль в почвенных исследованиях

Математическое моделирование и его роль в почвоведении и экологии. Введение в системный анализ. Анатомия математических моделей. Множественность моделей. Интерпретация моделей. Выбор сложности модели. Принципы итеративности и соответствия точности и сложности. Характеристика моделей (реалистичность, точность, общность, наглядность, модульность, способность к качественному и количественному развитию). Основные типы математических моделей: исследовательские-прикладные; аналитические-алгоритмические; минимальные - имитационные; линейные - нелинейные; статические - динамические; точечные - пространственно-распределенные; детерминированные - стохастические. Вычислительный эксперимент.

Специфика почв, как объекта моделирования

Специфика почв, как объекта моделирования (сложность системы, целостность, открытость, неаддитивный характер действия факторов внешней среды, иерархичность, пространственно-временная гетерогенность, динамичность, нелинейность). Классификация почвенных моделей с учетом иерархических уровней организации почв. Классификация современных экологических моделей (биогеохимические и биоэнергетические модели; модели динамики популяций; структурно-динамические модели; Fuzzy модели (модели, основанные на нечеткой логике); индивидуально-основанные модели; нейронные сети; экотоксикологические модели; гибридные модели).

Этапы построения математических моделей сложных динамических систем. Источники неопределенностей в моделях.

Постановка задачи; выбор объекта исследования и определение его временных и пространственных границ; сбор необходимых данных и оценка их качества; выбор типа модели; концептуализация модели; формализация модели; выбор метода решения; реализация модели; верификация модели; анализ чувствительности; калибровка; проверка; заключительный синтез. Источники неопределенностей в моделях. Ошибки, возникающие при определении структуры модели, изменении масштаба и оценке параметров.

Динамические модели. Качественные методы исследования динамических моделей.

Динамические модели. Используемый математический аппарат. Фазовое пространство. Фазовая траектория. Фазовый портрет. Стационарное состояние системы. Устойчивость стационарного состояния. Аналитический метод исследования устойчивости стационарного состояния (метод Ляпунова). Линейные системы. Типы особых точек: узел, седло, фокус, центр. Нелинейные системы. Особенности поведения нелинейных динамических систем. Примеры качественного исследования простых моделей.

Тема 2. Название темы для дисциплины: ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Биогеохимические модели.

История развития биогеохимических моделей. Виды биогеохимических моделей (организм-ориентированные и процесс-ориентированные). Однокомпонентные, многокомпонентные и, некомпартментальные процесс-ориентированные модели. Особенности биогеохимических моделей в зависимости от пространственно-временного масштаба. Модели биогеохимических циклов углерода и азота. Функции отклика. Примеры наиболее известных биогеохимических моделей RothC и Century. Микробные модели. Глобальные модели. Источники неопределенностей в моделях биогеохимического цикла углерода (неоднозначный выбор пулов; проблемы определения структуры модели; проблемы, возникающие при изменении пространственно-временного масштаба и оценке параметров). Использование биогеохимических моделей.

Модели педогенеза.

Историческое введение. Факторные модели. Эволюционные модели. Процессные модели. Процессные модели, рассматривающие изменения только твердой фазы почвы. Пример: модель почвообразования, описывающая выветривание и эрозию. Процессные модели, в явном виде описывающие миграцию вещества в почвенном профиле. Примеры таких моделей. Модель элювиального процесса (УИП5) А.И.Морозова. Модель ORTHOD. Модель SOILGEN.

Тема 3. Название темы для дисциплины: МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ В ПОЧВАХ

Виды математических моделей в мелиоративном почвоведении. Имитационные, физически обоснованные, динамические, пространственно-распределенные. Отличие от аналитических и статистических моделей. Экспериментальное обеспечение моделей: начальные и граничные условия, почвенные функции и константы. Физическое обоснование моделей:

1) феноменологические законы: баланса и переноса; 2) определение, 3) физическое обоснование моделей влагопереноса с использованием основных гидрофизических функций (основная гидрофизическая характеристика и функция влагопроводности); принципы построения, условия использования и возможности, 4) описание потребления влаги растениями, 5) понятие о педотрасфунциях. Принципы построения

педотрансферных функций: методы пошаговой регрессии, «нейронных сетей» и др. Физическое обоснование и расчетная схема моделей теплопереноса в почвах.

Подбор функций для описания экспериментальных данных. Понятие об аппроксимации. Основные функциональные зависимости, используемые в естествознании, их классификация. Зависимости, распространенные в различных областях почвоведения (почвоведение, растениеводство, химия почв, эрозия почв и др.). Процедура аппроксимации экспериментальных зависимостей. Работа с программами STATISTICA, SIGMAPLOT и др. Процедура аппроксимации экспериментальных данных эмпирической моделью. Абсолютная и относительная погрешности. Процедура сканирования для поиска параметров аппроксимации.

Статистические критерии соответствия экспериментальных и расчетных данных при аппроксимации. Средний квадрат неадекватности и квадрат «чистой ошибки». Погрешности случайные и систематические. Анализ погрешностей: регрессии погрешностей от экспериментальных и расчетных данных. Сравнение выбранных функций и методики выбора новых. Непараметрический критерий Вильямса-Клюта, использование для нахождения лучшей функции при аппроксимации экспериментальных данных. Решение конкретных задач. Использование параметров аппроксимации для анализа природных процессов (примеры с уравнением сорбции Ленгмюра, экологическое значение функции Гаусса и др.).

Движение влаги в почве. Виды граничных условий в задачах влагопереноса в почвах. Начальные условия. Граничные условия: условия на верхней и нижней границах. Их почвенное значение. Подбор верхнего и нижнего граничного условий в связи со спецификой функционирования почвы. Балансовые и дифференциальные формулировки одномерного влагопереноса. Закон неразрывности, модифицированный закон Дарси и уравнение Ричардса. Параметры модели. Перечень входных данных для программы, реализующей модель.

Понятие о расчетных схемах и численных решениях. Сеточный метод. Возможные погрешности метода.

Физико-химические модели процессов массообмена в мелиорируемых почвах. Гомо- и гетерогенный обмен. Взаимодействие ионов в растворах, активности, катионный обмен. Растворение-осаждение гипса и карбонатов. Описание процессов ионного обмена в почвах (уравнение Гапона). Сорбция: мгновенная и кинетическая. Описание процесса разложения веществ, движущихся в почве.

Тема 4. Название темы для дисциплины: МОДЕЛИ ЭНЕРГО- И МАССООБМЕНА В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ-АТМОСФЕРА»

Модели переноса ионов в почвенных растворах. Основные механизмы переноса ионов в почвенных растворах. Граничные условия. Физико-химические процессы и их параметры, необходимые для моделирования переноса ионов в почвах: гидродинамическая дисперсия и шаг смешения, молекулярная диффузия, коэффициент распределения, константа сорбции, константа обмена, параметры кинетических уравнений распада веществ (период полураспада).

Значение физико-химических параметров переноса в процессах миграции веществ в различных почвах. Перечни входных данных для программ, реализующих модели переноса ионов в почвенных растворах.

Модели описания движения ионов в почвах различной сложности: описание движения несорбирующейся нейтральной метки, иона Cl («нерастворяющийся объем влаги»), сорбирующихся ионов (коэффициент сорбции), линейная и кинетическая сорбция. Значение экспериментальных процедур определения гидрохимических параметров при экспериментальном обеспечении моделей.

Специфика прогнозных моделей переноса органических веществ в почвах. Пример моделей прогноза миграции пестицидов в почвах. Современные модели, базы данных к ним, система ввода данных и работа с моделями. Модели переноса загрязняющих веществ с учетом «преимущественных потоков» веществ. Модели с двойной пористостью.

Модели потребления и переноса веществ в растениях. Модель Кушмана. Анализ модели на чувствительность (на примере поглощения K^+ , азота растениями). Чувствительность модели к почвенным и растительным факторам.

Исследование прогнозных моделей на адекватность. Понятия адекватности и точности моделей. Основные статистические критерия соответствия модели реальным данным: качественный критерий Сайерта. Обнаружение случайных и систематических ошибок: элементы теории ошибок, статистические критерии (ошибка имитации, коэффициент корреляции, коэффициент автокорреляции, обнаружение систематических ошибок с помощью уравнения регрессии погрешностей моделирования от экспериментальных и расчетных величин) Сравнение и выбор лучшей модели (критерий Вильямса-Клюта).

Двух- и трехмерные модели переноса веществ в почвенном покрове. Модели движения загрязнителей с грунтовыми водами, взаимопроникновения вод различной солености. Модели с учетом радиального течения растворов к скважинам.

Использование моделей для оптимизации практических решений в области мелиорации, проведения агротехнических мероприятий, сроков сева различных с-х культур. Модели переноса влаги в почвах - как управляющие средства орошаемого интенсивного сельскохозяйственного производства. Практические аспекты моделей переноса веществ в почвах. Использование в мелиорации, в природоохранных аспектах, в сельском хозяйстве и экологических катастрофах (пример использования прогнозных моделей в системах поддержки и принятия решений “decision-support system”).

Использование прогнозных имитационных моделей для анализа экологического риска.

Тема 6. Название темы для дисциплины ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ПОЧВОВЕДЕНИИ

Специфика прогнозных моделей переноса органических веществ в почвах. Пример моделей прогноза миграции пестицидов в почвах. Современные модели, базы данных к ним, система ввода данных и работа с моделями (на примере модели миграции пестицидов MACRO_DB).

Модели потребления и переноса веществ в растениях. Анализ модели на чувствительность (на примере поглощения K^+ , фосфора, азота растениями). Чувствительность модели к почвенным и растительным факторам.

Построение моделей переноса микроорганизмов в почвах. Специфика микробиологических процессов. Кривые роста Сакса и их аппроксимация логистической функцией. Линейные кривые отмирания. Особенности описания процессов роста и отмирания в жидкой фазе и адсорбированном состоянии. Хемотаксис и его описание.

Математические модели управления водными и тепловыми ресурсами. Орошение и дренаж - наиболее действенные способы оптимизации водного режима почв. Условия их безопасного применения. Прогревание почвы, определение оптимальной глубины посева семян по температуре почвы. Модель HYDRUS. Значение почвенно-экологических моделей для подбора мероприятий по оптимизации свойств и режимов почв. Конструирование почв. Модели почвенных конструкций.

ПРОГРАММА

Практических занятий по курсу “Математическое моделирование в почвоведении”

Практические занятия.

Занятие 1. Построение динамических точечных моделей в пакете MODELMAKER.. Построение модели динамики органического вещества почв.

Занятие 2. Использование модели круговорота углерода в целях прогнозирования изменений уровня гумусонакопления в черноземах в результате их сельскохозяйственного освоения.

Занятие 3. Аппроксимация экспериментальных данных с помощью различных функций. Подбор функции. Получение параметров аппроксимации. Анализ достоверности параметров и ошибок аппроксимации. Анализ достоверности различия параметров аппроксимации двух экспериментальных массивов. Работа в пакетах STATISTICA, EXCEL, SIGMAPLOT.

Занятие 4. Поливариантный прогноз водно-солевого режима с помощью модели HYDRUS. Оценка чувствительности модели от гидрофизических, гидрохимических, сорбционных параметров. Особенности формирования солевого режима и осолонцевания при смене состава поливных вод. Поливариантный прогноз водно-солевого режима почв при орошении.

Занятие 5. Нелинейная аппроксимация и выбор лучшей математической модели. Критерий Вильямса-Клюта. В пакете STATISTICA разместить приведенные данные. С помощью нелинейной оценки провести аппроксимацию указанных данных с помощью трех функций: степенной, экспоненциальной, логистической. Определить параметры. В услуге Results зайти в Predicted values> Residuals,etc. , скопировать Residuals и поместить их в конечную таблицу (необходимо использовать EXCEL, Statistic).

Занятие 6. Расчет водного и солевого режимов гомогенной почвы поле полива 400 м³/га водного слоя на 3-й день. Условия: почва –средний суглинок по всему профилю, рассматриваем 100 см. Рассмотреть заданное количество суток дней. Полив на определенный день (задается преподавателем). Начальные условия: по всему профилю - 600 см водного столба. Верхнее условий – нулевое испарение. Рассчитать водный режим для всех условий (для всех 8-ми условий) на нижней границе профиля. Представить все в виде хроноизоплант давления и влажности. Использовать программу SURFER.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

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

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной и итоговой аттестации:

Системный анализ и его основные понятия (Система и ее основные свойства, элемент, внутренний состав системы, окружающая среда, структура системы, закон функционирования, модель системы).

Интерпретация моделей. Анатомия математических моделей (переменные состояния, внешние переменные, контролирурующие переменные, математические уравнения, параметры, универсальные константы). Вычислительный эксперимент.

Особенности почвы как объекта моделирования. Сложность, открытость, динамичность, нелинейность, иерархичность, пространственно-временная гетерогенность. Сложный характер взаимодействия с окружающей средой.

Возможные цели моделирования.

Классификация моделей по Федорову и Гильманову(концептуальные – математические; аналитические-численные; дискретные –непрерывные; статические –динамические; точечные- пространственные; детерминированные- стохастические).

Классификация моделей в соответствии с целями моделирования (регрессионные, имитационные и базовые (минимальные)). Достоинства и недостатки каждого из этих классов моделей.

Классификация почвенных моделей с учетом иерархических уровней организации.

Классификация современных экологических моделей (динамические биогеохимические и биоэнергетические модели; статические биогеохимические и биоэнергетические модели; модели динамики популяций; структурно-динамические модели; Fuzzy модели; индивидуально-основанные модели; нейронные сети; пространственные; стохастические; экотоксикологические; гибридные).

Основные методологические принципы моделирования (принцип итеративности и принцип соответствия точности и сложности). Характеристика моделей (реалистичность, точность, общность, наглядность, модульность; способность к качественному и количественному развитию).

Этапы построения математических моделей сложных динамических систем. Постановка задачи; выбор объекта исследования и определение его временных и пространственных границ; сбор необходимых данных и оценка их качества; выбор типа модели; концептуализация модели; формализация модели; выбор метода решения; реализация модели; верификация модели; анализ чувствительности; калибровка; проверка; заключительный синтез.

Источники неопределенностей в почвенных и экологических моделях. Природная вариабельность объекта исследования. Ошибки, возникающие при определении структуры модели, выборе сценария и оценке параметров.

Статические биогеохимические модели. Их достоинства и недостатки. Энвайрон-анализ

Динамические модели. Используемый математический аппарат. Фазовое пространство. Фазовая траектория. Фазовый портрет. Стационарное состояние системы.

Примеры простейших линейных динамических моделей. Модель Мальтуса (модель экспоненциального роста численности популяции). Простейшая линейная динамическая модель открытой системы. Универсальность математических моделей.

Учет временной иерархии процессов при построении динамических моделей («быстрые», «средние» и «медленные» переменные).

Качественное исследование динамических моделей. Основоположники качественной теории дифференциальных уравнений. Понятие устойчивости стационарного состояния. Аналитический метод исследования устойчивости стационарного состояния (метод Ляпунова). Качественное исследование логистической модели.

Качественное исследование динамических моделей, представленных системой двух линейных дифференциальных уравнений. Типы особых точек: узел, седло, фокус, центр. Типы поведения линейных динамических систем вблизи стационарного состояния.

Качественное исследование простейшей линейной модели динамики органического вещества почв.

Нелинейные динамические модели. Особенности поведения нелинейных динамических систем: мультистационарность; катастрофы; автоколебания; динамический хаос. Понятие аттрактор и качественные особенности аттракторов. Аттрактор Лоренца. Самоорганизация нелинейных открытых динамических систем. Почвообразование как синергетический процесс.

Математическое моделирование биогеохимических циклов. История вопроса. Классификация моделей биогеохимических циклов в соответствии с пространственно-временным масштабом. Основные подходы к моделированию динамики органического вещества почв.

Компартментальные модели круговорота углерода. Процесс-ориентированные модели. Ротамстедская модель RothC. Модель Century.

Организм-ориентированные модели. Микробные модели динамики органического вещества почв. Простейшая микробная модель разложения органического вещества почвы.

Моделирование скорости разложения органического вещества почв в зависимости от условий среды. Редуцирующий фактор. Температурный фактор, Фактор влажности. Текстуальный фактор. Модель Struc-C.

Глобальные модели. Почвенные биогеохимические модели, входящие в глобальные климатические модели.

Источники неопределенностей в моделях биогеохимического цикла углерода. Проверка моделей динамики органического вещества почв. Примеры использования. Основные направления развития.

Модели педогенеза. Факторные модели. Эволюционные модели. Процессные модели. Процессные модели педогенеза, рассматривающие изменения только твердой фазы почвы. Модель почвообразования, описывающая динамику мощности почвы в зависимости от скорости выветривания и эрозии.

Процессные модели педогенеза, в явном виде описывающие миграцию вещества в почвенном профиле.

Адаптация и проверка моделей экспериментальными данными. Количественные критерии: 1) ошибка имитации, 2) средняя квадратическая ошибка имитации, 3) нормализованная объектная функция, 4) анализ уравнений регрессии погрешностей моделирования от экспериментальных данных, 4) критерий Вильямса-Клюта.

Перенос веществ в почвах. Гидродинамическая диффузия, шаг смешения. Нерастворяющийся объем влаги. Влияние этих параметров на динамику переменной состояния (содержания ионов).

Адаптация и проверка полуэмпирических моделей экспериментальными данными. Качественные критерии (принцип Сайерта). Анализ ошибок.

Модель поглощения веществ растениями. Качественная структура модели. Основные параметры модели. Анализ модели на чувствительность.

Параметры моделей переноса веществ различной сложности: 1) модели с проточной и застойной зонами, 2) с линейной сорбцией, 3) с нерастворяющимся объемом, 4) с

кинетической сорбцией.

Математические модели переноса пестицидов. Параметры модели. Устройство прогнозного метеорологического блока.

Перенос веществ в почвах. Основные механизмы переноса: диффузия, конвекция, гидродинамическая дисперсия. Конвективно-диффузионное уравнение переноса.

Модели равновесия ионов в почвах: основные уравнения ионных равновесий, ионный обмен с твердой фазой (по Гапону). Функционирование подмодели ионных равновесий.

Параметры аппроксимации и их определения (метод сканирования). Начальные приближения. Статистики для анализа параметров аппроксимации. Случайные и систематические ошибки при аппроксимации. Методы их оценки.

Функции, наиболее употребительные в почвоведении. Оценка параметров, их связь со свойствами почв.

Математические уравнения для описания экспериментальных данных.

Физическое обоснование моделей влагопереноса с использованием основных гидрофизических функций. Сеточная схема расчета. Начальные условия.

Экспериментальное обеспечение моделей: начальные и граничные условия (3 условия на нижней границе), почвенные функции и константы. На примере моделей влагопереноса в почвах. Модели теплопереноса в почвах.

Препроцессор и постпроцессор моделей движения влаги и тепла.

Адаптация и проверка моделей экспериментальными данными. Критерии: 1) критерий Сайерта, 2) средняя квадратическая ошибка имитации, 3) нормализованная объектная функция, 4) коэффициенты корреляции и автокорреляции.

Понятие о двух- и трехмерных моделях. Особенности расчетной схемы и граничных условий. Условия применения.

Условия на верхней и нижней границах для моделей переноса влаги, тепла, солей. Задание верхних граничных условий (метеоусловий) в моделях долгосрочного прогноза почвенных режимов (метеосимуляторы). Основные принципы устройства метеостимуляторов.

Адаптация полуэмпирических моделей экспериментальными данными. Качественные к использованию математических моделей при: управлении, проектировании, количественном прогнозе, расчете экологического риска, планировании эксперимента. Критерии соответствия (принцип Сайерта). Анализ ошибок. Понятие о педотрансферных функциях.

Составляющая «источник/сток» в конвективно-диффузионном уравнении переноса. Физические явления, включающиеся в эту составляющую: ионный обмен, сорбция, разложение, рост. Их описание в математических моделях.

Модели переноса влаги в почвах. Уравнение Ричардса. Возможность решения уравнения, введение дифференциальной влагоемкости. Уравнение Ван Генухтена для аппроксимации основной гидрофизической характеристики. Уравнение Муалема о связи дифференциальной влагоемкости и влагопроводности. Сеточная схема решения.

Модели переноса тепла в почве. Основное уравнение теплопереноса. Коэффициент теплопроводности и температуропроводность (термодиффузия). Аппроксимация зависимости температуропроводности от влажности.

Педотрансферные функции. Точечные и параметрические методы их расчета. Необходимость наличия базы данных и математических процедур для нахождения педотрансферных функций. Примеры использования педотрансферных функций в математических моделях в почвоведении.

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной литературы:

А. Основная литература – с выделением подразделов.

Шейн Е.В., Рыжова И.М. (2016). Математическое моделирование в почвоведении. Учебник.– И.: Изд-во ИП «Маракушев», 2016. – 400 с.

Рыжова И.М. Математическое моделирование почвенных процессов. Изд-во Моск.ун-та, 1987. 82 с. – разделы 1-4

Пачепский Я.А. Математические модели процессов в мелиорируемых почвах. Изд-во Моск.ун-та, 1992.85 с. – разделы 2-5.

Шейн Е.В. Курс физики почв. Изд-во Моск.ун-та, 2005 (часть XII) – раздел 4-6.

Б. Дополнительная литература – с выделением подразделов.

1. Сметник А.А., Спиридонов Ю.Я., Шейн Е.В. Миграция пестицидов в почвах М.: РАСХН-ВНИИФ. 2005.336 с.
2. Кошелева Н.Е. Моделирование почвенных и ландшафтно-геохимических процессов. Изд-во Моск.ун-та, 1997.
3. Богатырев Л.Г., Рыжова И.М. Биологический круговорот и его роль в почвообразовании. Изд-во Моск. Ун-та, 1994.
4. Арнольд В.И. Теория катастроф. 1990.
5. Джонгман Р.Г., С.ДЖ.Ф.Тер Браак, О.Ф.Р.Ван Тонгерен. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН. 1999. 306 с.
6. Пачепский Я.А., Пачепская Л.Б., Мироненко Е.В., Комаров А.С. Моделирование водно-солевого режима почво-грунтов с использованием ЭВМ. М., 1976.
7. Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. Л., Гидрометеиздат, 1981.
8. Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. Экология. М., 1980.
9. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. Л., Гидрометеиздат. 1980.
10. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. М.: Мир. 1972. 957 с.
11. Пачепский Я.А. Математические модели физико-химических процессов в почвах. М.:Наука. 1990. 186 с.
12. Моделирование продуктивности агроэкосистем. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 264 с.
13. Моделирование процессов засоления и осолонцевания почв. М.: Наука. 1980. 262 с.
14. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Смагина М.В., Глаголев М.В., Шевченко Е.М., Хайдапова Д.Д., Губер А.К. Моделирование динамики органического вещества почв. Изд-во МГУ, 2001-120с.

- Перечень лицензионного программного обеспечения (при необходимости)
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)

Программа HYDRUS и RENC для практических занятий: (<http://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?H1d-downloads>).

Описание пакета программ по расчету движения влаги, солей, тепла в почвах: The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media.

Модель Макро5,2 <http://www.slu.se/en/collaborative-centres-and-projects/centre-for-chemical-pesticides-ckb1/areas-of-operation-within-ckb/models/macro-52/>

Ссылка на модель SWAP, - расчет водного режима почвенных конструкций с учетом макропористости: <http://www.swap.alterra.nl/>

Ссылки на модели расчета переноса пестицидов в почвах. Управляющие и результирующие модели. PELMO <http://focus.jrc.ec.europa.eu/gw/index.html>

В этой есть почвенный блок, с горизонтами и свойствами. Эта модель считается из самых простых прогностических моделей. Для практических занятий рекомендуется использовать модель PRZM (Презем) <http://focus.jrc.ec.europa.eu/gw/index.html>

- Описание материально-технического обеспечения:

А. Помещения: учебные аудитории факультета

Б. Оборудование: личные персональные компьютеры студентов или компьютерные классы факультета

В. Иные материалы:

9. Язык преподавания: русский

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности «Почвоведение» программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.