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:

Гидрология почв

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки (специальность):

06.03.02 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 06.03.02 Почвоведение программы *бакалавриата*.

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от 30 декабря 2020 года (протокол № 1370).

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП:** *относится к вариативной части ОПОП, является обязательной к освоению*

2. **Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:** *перечень освоенных дисциплин*
Высшая математика
Физика
Физика почв

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**
Б-СПК-1 **Б-СПК-2**	Б-СПК-1.1 Б-СПК-1.2 Б-СПК-2.1 Б-СПК-2.2	Знать основные принципы и методы изучения физических свойств и водного режима почв. Знать возможные изменения водного режима в зависимости от природных факторов и антропогенных воздействий. Знать зависимость капиллярно-сорбционного потенциала воды от влажности почвы и механизмы удерживания почвенной влаги. Уметь анализировать и представлять данные о влажности и давлении влаги в почве. Уметь использовать педотрансферные функции для расчёта гидрофизических свойств. Уметь рассчитывать потоки влаги с использованием балансового и дифференциального подходов . Уметь прогнозировать потоки влаги и растворенных веществ в почвах и

		ландшафте. Владеть приемами использования различного полевого и лабораторного оборудования для диагностики и оценки гидрофизических свойств почв.

4. **Объем дисциплины** 2 з.е.**,** в том числе 36 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов 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.	20	7				7			13
Тема 1	5	1				1			4
Тема 2	7	3				3			4
Тема 3	8	3				3			5
Раздел 2.	16	7				7			9
Тема 1.	9	4				4			5
Тема 2.	7	3				3			4
Раздел 3.	7	3				3			4
Тема 1.	7	3				3			4
Раздел 4.	11	7				7			4

Тема 1.	11	7				7			4
Раздел 5.	16	12				12			4
Тема 1.	16	12				12			4
Практическая подготовка** *(при наличии)*									
Промежуточная аттестация - экзамен	*экзамен*						2		
Итого:	72	36					36		

***** Практическая подготовка (при наличии) осуществляется на базе …(указать – структурное подразделение МГУ или организацию (предприятие), практическая подготовка на базе которого осуществляется на основании Договора)***

Подробное содержание разделов и тем дисциплины:

Введение. Гидрофизика почв как раздел физики почв. Основные задачи, разделы, понятия, термины. История развития гидрофизики почв в России и за рубежом. Системный и структурно-функциональный подходы в науке.

Раздел 1.

Тема 1. Свойства воды. Влажность почв.

Общие сведения о воде, строение молекулы воды, агрегатное состояние и структура воды, физические свойства жидкой, газообразной и твердой воды.

Влажность почвы. Формы выражения влажности. Методы определения влажности для минеральных и органогенных почв. Способы анализа и представления данных о влажности почв в зависимости от целей эксперимента.

Тема 2. Водный режим почв.

Водный режим почв, его составляющие. Факторы, определяющие водный режим почв. Гидротермические коэффициенты и типы водного режима.

Испарение, относительное испарение и его зависимость от влажности почв. Способы управления испарением. Конденсация влаги в почве. Роль конденсации в формировании водного режима. Внутрипочвенный сток, его значение для выполнения почвой своих функций в ландшафте. Лизиметрический метод количественного определения внутрипочвенного стока. Латеральные потоки влаги, сопряжение почв в ландшафте по условиям увлажнения. Практические аспекты использования данных о внутрипочвенных потоках влаги.

Тема 3. Состояние воды в почве. Потенциал почвенной влаги.

Молекулярно-ионный структурный уровень почв и поверхностные явления. Геометрические и энергетические свойства поверхности твердой фазы почв. Взаимодействие твердой и жидкой фазы почвы. Мономолекулярный и полимолекулярный слой влаги. Изотермы сорбции/десорбции паров воды. Модели аппроксимации изотермы десорбции. Уравнение Брунауера – Эмметта – Теллера, его параметры, допущения для его использования. Теплота смачивания. Уравнение Фарера. Полная, внешняя, внутренняя поверхность почвы, их расчет. Поверхность раздела твердой и жидкой фаз: геометрические и энергетические представления.

Термодинамическая характеристика энергетического состояния почвенной влаги. Определения потенциала почвенной влаги и давления почвенной влаги. Способы их выражения. Полный потенциал воды в почве и его составляющие. Капиллярно-сорбционное, осмотическое, гравитационное давление почвенной влаги. Капиллярная модель водоудерживания. Зависимость капиллярно-сорбционного потенциала воды от влажности почвы – кривая водоудерживания или основная гидрофизическая характеристика (ОГХ). Методы определения ОГХ. Механизмы удерживания почвенной влаги. Понятие влагоемкости и категорий почвенной влаги. Почвенно-гидрологические и энергетические константы как реперные точки на кривой водоудерживания, методы их определения и расчета. Диапазоны категорий почвенной влаги, их значение в почвоведении, мелиорации, земледелии. Расчет передвижения воды с помощью почвенно-гидрологических констант. Уравнение Лапласа. Кривая водоудерживания для функциональной и геометрической характеристики почвенной архитектуры. Кривая водоудерживания и ее параметры для почв разного минералогического,

гранулометрического, химического составов. Анизотропия, масштабный эффект и влияние структуры почв на ОГХ. Способы аппроксимации кривых водоудерживания, педотрансферные функции. Модель ван Генухтена – Муалема, параметры ван Генухтена, их анализ.

Раздел 2.

Тема 1. Движение влаги в почве.

Поступление влаги в почву. Водопроницаемость, стадии впитывания и фильтрации, методы их определения и классификационные градации. Движение воды в насыщенной влагой почве. Уравнение Дарси, условия его соблюдения. Коэффициент фильтрации, виды фильтрации.

Движение воды в ненасыщенной влагой почве. Модифицированный закон Дарси. Градиент капиллярно-сорбционного и гравитационного давлений почвенной влаги. Функция влагопроводности, или ненасыщенная гидравлическая проводимость. Вертикальное и латеральное движение влаги в ненасыщенной почве. Методы определения функции влагопроводности в лабораторных и полевых условиях. Физические основы изменения влагопроводности при изменении гранулометрического и агрегатного состава, плотности почв, состава порового раствора и поглощенных оснований. Прикладные аспекты использования функции влагопроводности. Использование модифицированного уравнения Дарси для расчета движения влаги в почве. Уравнение Дарси – Бэкингема. Прогнозное моделирование водного режима на основе кривых ОГХ и коэффициента влагопроводности.

Влияние температуры на потенциал почвенной влаги и форму кривой ОГХ. Термопароперенос: движение влаги под действием градиента температуры.

Тема 2. Специфические явления, связанные с передвижением влаги и ее удерживанием.

Классические и современные представления о миграции влаги. Влияние свойств почв, строения профиля и начальных условий увлажнения на вертикальное передвижение влаги. Преимущественные потоки влаги в почве, причины их формирования и методы определения. Значимость преимущественных потоков влаги для водного режима почв. Вертикальный и латеральный перенос влаги. Движение влаги в засоленных, осолонцованных и загрязненных почвах.

Раздел 3.

Тема 1. Движение воды в системе почва-растение-атмосфера.

Термодинамический подход к изучению движения влаги в системе почва – растение – атмосфера. Дыхание и фотосинтез. Поток воды в растении. Осмос и передвижение влаги в растениях на клеточном уровне. Корневое давление, влияние внешних и внутренних факторов. Водный режим листа. Транспирация и методы ее определения. Транспирационная трапеция. Физические основы движения воды в системе почва – растение – атмосфера. Понятие о влагообеспеченности растений и ее регулировании. Факторы влагообеспеченности. Требования растений к условиям увлажнения.

Раздел 4.

Тема 1. Перенос растворенных веществ и суспензий в почвах.

Уравнение неразрывности. Конвективный перенос веществ. Молекулярная диффузия. Особенности транспорта растворенных веществ в пористых средах (почве). Явление гидродинамической дисперсии. Конвективно-диффузионное уравнение переноса. Понятие о «выходных кривых». Фильтрационные эксперименты, последовательность их

проведения. Понятия такт и относительная концентрация. Основные параметры переноса растворенных веществ и суспензий в почве: гидродинамическая диффузия, шаг смешения, скорость потока, влажность нерастворяющего объема при движении анионов, константа распределения для описания движения сорбирующихся веществ. Влияние свойств почв, начальных условий, размеров образца и используемых веществ-маркеров для получения параметров массопереноса. Понятие архитектуры почв и структуры порового пространства. Геометрическая и функциональная дифференцированность порового пространства почв.

Раздел 5.

Тема 1. Математическое модели прогноза потоков влаги и растворенных веществ в почвах.

Понятие о математических моделях, используемых в почвоведении. Регрессионные модели, виды зависимостей. Аппроксимация, определение параметров аппроксимации. Функциональные зависимости, используемые в почвоведении и экологии. Получение экспериментального материала в виде основной гидрофизической характеристики и аппроксимация с помощью уравнения ван Генухтена – Муалема, модель RETC. Аппроксимация выходной кривой, модель CFITIM (STANMODE), получение параметра гидродинамической дисперсии и шага смешения, оценка почв по этим параметрам. Влияние размера и формы почвенного образца на параметры массопереноса.

Физически обоснованные математические модели. Основные законы, используемые в математических моделях: закон переноса, закон сохранения. Уравнение влагопереноса. Экспериментальное обеспечение моделей, методы получения в эксперименте и с помощью педотрансферных функций. Условия на верхней границе, основные метеорологические показатели. Нижнее граничное условие, примеры выбора условий на нижней границе в зависимости от сценария. Начальные условия. Сеточная схема численного решения уравнения переноса влаги. Оценка чувствительности моделей к входным параметрам, проверка работы моделей на независимом экспериментальном материале.

Описание движения веществ в почве физически обоснованными моделями. Конвективно-диффузионный перенос и его описание уравнением конвективно-диффузионного переноса (КДП). Описание разложения и сорбции веществ в моделях: модель равновесной и неравновесной сорбции.

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

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

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

Примерные вопросы для зачета/экзамена

1. Вода, ее физические и химические свойства.
2. Баланс влаги в почве и его составляющие, их учет на практике.

3. Влажность почвы. Формы выражения влажности.
4. Методы определения влажности.
5. Способы представления данных о влажности почвы.
6. Понятие влагоемкости. Энергетические константы.
7. Почвенно-гидрологические константы.
8. Методы определения почвенно-гидрологических констант.
9. Диапазоны категорий почвенной влаги.
10. Изотермы сорбции паров воды. Уравнение БЭТ. Уравнение Фаррера. Удельная поверхность почв.
11. Понятие потенциала и давления почвенной влаги.
12. Капиллярно-сорбционное давление. Основная гидрофизическая характеристика почв (ОГХ). Ее значение в почвенной гидрологии (гидрофизике).
13. Зависимость ОГХ от свойств почвы. Методы определения ОГХ.
14. Движение влаги в насыщенной почве. Закон Дарси.
15. Водопроницаемость, впитывание, фильтрация, методы определения. Виды фильтрации.
16. Модифицированный закон Дарси.
17. Ненасыщенная гидравлическая проводимость (функция влагопроводности), методы определения.
18. Расчет движения влаги в не насыщенной влагой почве: с использованием ПГК, с использованием ОГХ и функции влагопроводности.
19. Преимущественные потоки влаги в почве.
20. Движение влаги под действием градиента температуры. Термопароперенос.
21. Понятия: фотосинтез, дыхание, транспирация.
22. Физические основы движения воды в системе почва-растение-атмосфера. Осмос, корневое давление, поток воды в растении.
23. Транспирационная трапеция. Понятие о влагообеспеченности растений и ее регулировании. Факторы влагообеспеченности.
24. Водный режим почв. Типы водного режима. Факторы, определяющие водный режим почв.
25. Математические модели массопереноса: основные законы, на которых построены модели.
26. Математические модели массопереноса: устройство и физическое обеспечение.
27. Экспериментальное обеспечение. Начальные и граничные условия.
28. Сеточная схема расчета движения воды в почве

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 *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

  1. Шеин Е.В. Курс физики почв. Изд-во Московского университета, 2005.
  2. Умарова А.Б. Преимущественные потоки влаги в почвах: закономерности формирования и значение в функционировании почв. Издательство: ГЕОС, 2011 г.
  3. Шеин Е.В., Рыжова И.М. Математическое моделирование в почвоведении М.: ИП Маракушев А.Б., 2016. — 377 с.

  Дополнительная литература

  1. Воронин А.Д. Основы физики почв. Издательство МГУ, 1986.
  2. Сметник А.А., Спиридонов Ю.Я., Шеин Е. В. Миграция пестицидов в почвах. М.: РАСХН-ВНИИФ, 2005. - 327 с
  3. Роде А.А. Основы учения о почвенной влаге. Л.: Гидрометеоиздат. 1965.
  4. Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. Изд-во Московского университета. 1979.
  5. Теории и методы физики почв // Коллективная монография под. ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Изд-во «Гриф и К», 2007.
  6. Шеин Е.В., Умарова А.Б. Сборник задач по физике почв. Изд-во Московского университета, 2006.
  7. Hillel D. Environmental Soil Physics. 1998. San Diego: Academic.
  8. Van Genuchten M.Th. A closed-form equation for predicting for hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil. Sci. Society of Am. J.1980. 44. 892-898.
- Перечень лицензионного программного обеспечения: любой статистический пакет, RETC, CFITIM (STANMODE)
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости): https://www.pc-progress.com/en/default.aspx
- Описание материально-технической базы: аудитория, ПК, проектор, экран

10. **Язык преподавания:** русский

11. **Преподаватель (преподаватели):**
Умарова Аминат Батальбиевна
Должность: заведующий кафедрой
Ученая степень (когда и где присуждена): д.б.н. 2008 факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова
Ученое звание (когда и кем присвоено): профессор 26.11.2015 ВАК РФ

Кокорева Анна Александровна
Должность: ведущий научный сотрудник
Ученая степень (когда и где присуждена): к.б.н. 2009 факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

12. **Разработчики программы:**
Умарова Аминат Батальбиевна
Должность: заведующий кафедрой
Ученая степень (когда и где присуждена): д.б.н. 2008 факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова
Ученое звание (когда и кем присвоено): профессор 26.11.2015 ВАК РФ

Кокорева Анна Александровна
Должность: ведущий научный сотрудник
Ученая степень (когда и где присуждена): к.б.н. 2009 факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

13. **Краткая аннотация дисциплины:**

Курс включает представления о почвенной влаге, включает рассмотрение баланса воды в почве и водном режиме почв. Рассматриваются составляющие водного баланса почв и их использование для оптимизации водного режима почв: грунтовые воды и верховодка, поверхностные воды, поливные воды, осадки, испарение, конденсация. Включает анализ методов определения и способах представления данных о влажности с учетом поставленных в исследовании задач. В курсе рассматриваются механизмы взаимодействия жидкой и твердой фазы почв, понятие потенциала почвенной влаги, его зависимости от влажности почв, категории почвенной влаги, почвенно-гидрологические и энергетические константы. Рассмотрены механизмы передвижения влаги в системе почва – растение – атмосфера. Даны основные положения теории переноса растворенных веществ и суспензий, в том числе агрохимикатов и поллютантов. Изложены основы специфических почвенных явлений – преимущественных потоков влаги, латеральных потоков, изменения сорбционных характеристик почв при загрязнении. Курс включает рассмотрение математических моделей прогноза потоков влаги и растворенных веществ в почвах.