

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:**

**Теория теплообмена в почвах**

---

**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

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 обязательным курсом.*

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

Высшая математика

Физика

Физика почв

Почвоведение

3. **Планируемые результаты обучения в результате освоения дисциплины, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников:**

<b>Компетенции выпускников (коды)</b>	<b>Индикаторы (показатели) достижения компетенций</b>	<b>Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями</b>
Б-СПК-1	Б-СПК-1.1 Б-СПК-1.2	Уметь понимать, излагать и критически с помощью математических методов анализировать базовую информацию в области физики и мелиорации почв
Б-СПК-1	Б-СПК-1.1 Б-СПК-1.2	Уметь количественно анализировать полученные экспериментальные и известные из литературы результаты по переносу и преобразованию тепла в почвах
Б-СПК-2	Б-СПК-2.1	Владеть теорией и навыками практической работы в области теплообмена в почвах
Б-СПК-3	Б-СПК-3.2	Владеть современными экспериментальными и расчетными методами исследования тепловых свойств и температурного режима почв

4. **Объем дисциплины** 2 з.е., в том числе 20 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем, 52 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	
Введение	3	1				1			2
Тема 1	9	3				3			6
Тема 2	8	2				2			6
Тема 3	8	2				2			6
Тема 4	9	3				3			6
Тема 5	9	3				3			6
Тема 6	8	2				2			6
Тема 7	8	2				2			6
Тема 8	8	2				2			6
Форма текущей аттестации по разделу	Устный опрос в рамках занятий лекционного типа								
Практическая подготовка** (при наличии)									
Промежуточная аттестация - зачет								2	

<b>Итого:</b>	72	20	20	52
---------------	----	----	----	----

**\*\* 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.**

Температура почвы как фактор функционирования почвенного покрова.

Температура и внутренняя энергия. Скрытое тепло. Теплоемкость. Механизмы переноса тепла. Уравнение Фурье для переноса тепла в однородной среде. Теплопроводность.

### **Тема 1. Тепловой баланс деятельной поверхности.**

Деятельная поверхность. Поступление солнечной энергии на деятельную поверхность. Прямая радиация. Инсоляция. Рассеянная радиация. Суммарная радиация. Отражение солнечной радиации от деятельной поверхности. Альbedo. Поглощение тепла почвой.

Тепловое излучение деятельной поверхности. Парниковый эффект. Встречное излучение атмосферы. Эффективное длинноволновое излучение. Радиационный баланс деятельной поверхности.

Конвективный теплообмен между почвой и приземным слоем атмосферы. Потери тепла на испарение.

Поток тепла в почву. Уравнение теплового баланса. Влияние растительности на тепловой баланс поверхности почвы.

Мелиоративные мероприятия, направленные на оптимизацию теплообмена деятельной поверхности с прилегающим слоем воздуха: окраска поверхности, использование стеклянных рам, полимерной пленки, кулис, гребневание, террасирование склонов, орошение.

### **Тема 2. Теплоемкость почвы.**

Теплоемкость минеральных и органических почвенных составляющих, воды и льда. Аддитивный характер теплоемкости. Зависимость объемной теплоемкости сухой почвы от ее плотности. Теплоемкость связанной воды. Рост теплоемкости с температурой. Расчет теплоемкости сухой почвы по содержанию органического вещества. Формулы расчета теплоемкости влажной почвы через весовую и объемную влажность. Калориметрический способ определения теплоемкости. Эффективная теплоемкость почвы при фазовых переходах.

### **Тема 3. Перенос тепла в почве.**

Механизмы переноса тепла в почве: кондукция, конвекция, перенос скрытого тепла, тепловое излучение. Относительная роль различных механизмов для глубинных и приповерхностных слоев почвы. Уравнение Фурье в применении к почвам. Коэффициент теплопроводности почвы. Коэффициенты теплопроводности минеральных и органических почвенных компонент, воды и льда. Неаддитивный характер теплопроводности. Нелинейный рост теплопроводности почвы с увеличением влажности. Влияние плотности на теплопроводность почвы. Теплопроводность почв различного гранулометрического состава. Примеры.

Мелиоративные приемы оптимизации теплообмена в верхнем слое почвы: мульчирование, рыхление, прикатывание, минерализация, орошение.

### **Тема 4. Уравнение теплопроводности.**

Уравнение неразрывности – частный случай закона сохранения энергии. Источники и стоки тепла; их плотность. Вывод уравнения теплопроводности в общем виде. Уравнение теплопроводности для однородной по глубине почвы в отсутствие источников и стоков

тепла. Коэффициент температуропроводности.

Зависимость температуропроводности от влажности – основная теплофизическая характеристика почвы. Коэффициенты температуропроводности минеральных и органических почвенных составляющих, воды и льда. Температуропроводность почв различного гранулометрического состава и плотности. Примеры.

Начальные условия. Краевые условия 1, 2 и 3 рода. Решение уравнения теплопроводности для стационарного распределения температуры: а) для однородной колонки и б) для двухслойной колонки. Формулировка задачи распространения тепла в двухслойной почве.

Методы определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности. Метод цилиндрического зонда. Метод регулярного режима.

#### **Тема 5. Температурные волны в почве.**

Цикличность поступления солнечной энергии на деятельную поверхность. Годовые и суточные колебания температуры почвы. Примеры: Суточная динамика температуры почвы в Суздале. Годовая динамика температуры почвы в Москве (с/х академия). Среднегодовая температура почвы для различных глубин. Температурный профиль почв и его изменения во времени.

Задача о распространении температурных волн в однородном почвенном профиле. 1й, 2й и 3й законы Фурье для температурных волн в почвах. Определение коэффициента температуропроводности почвы по затуханию амплитуды колебаний температуры с глубиной.

Глубина затухания и время запаздывания максимумов годовых и суточных колебаний температуры в различных почвах. Влияние растительности на температурный режим почвы.

Методы измерения температуры почвы. Вытяжные термометры. Почвенные электротермометры. Радиационные термометры.

#### **Тема 6. Термоперенос почвенной влаги.**

Температурная составляющая потенциала почвенной влаги. Миграция влаги в направлении понижения температуры. Механизмы термопереноса почвенной влаги: пародиффузионный, капиллярный, пленочный. Зависимость интенсивности термопереноса влаги от плотности и влажности для почв разного гранулометрического состава. Превышение скорости теплотока влаги по отношению к скорости диффузии водяного пара. Внутрипорный температурный градиент и его соотношение с внутрипочвенным температурным градиентом.

#### **Тема 7. Промерзание почвы.**

Фазовые переходы при промерзании почвы. Нулевая завеса. Морозные почвы.

Термоперенос почвенной влаги при промерзании. Скачок потенциала почвенной влаги на границе между мерзлым и талым слоями. Зимнее подтягивание влаги из глубинных слоев почвы и накопление ее в приповерхностном слое. Формирование слоистой и сетчатой криогенной текстуры.

Изменение объема почвы при промерзании и образование морозобойных трещин.

Теплопроводность снега. Влияние снежного покрова на температурный режим почвы.

Методы измерения глубины промерзания почвы. Мерзлотомер Данилина.

Снежные мелиорации. Снегозадержание, снегонакопление, снегопахота.

#### **Тема 8. Классификации температурных режимов почв.**

Классификация температурных режимов почв по В. Н. Димо. Подход к типизации климата почвы А. М. Шульгина. Классы температурного режима почв в соответствии с принятой в США классификацией почв.

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

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

Классификации температурных режимов почв

Тепловая мелиорация почв

Факторы формирования температурного режима почв

Влияние гранулометрического состава на тепловые свойства почв

Влияние органического вещества на тепловые свойства почв

Влияние почвенной влаги на теплообмен в почвах

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

Перечислите механизмы переноса тепла (в том числе в почвах) и поясните, с какими физическими процессами они связаны

Дайте определение солнечной постоянной

Дайте определение прямой солнечной радиации

Дайте определение рассеянной солнечной радиации

Дайте определение инсоляции

Дайте определение суммарной солнечной радиации

Дайте определение альбедо

Что из себя представляет излучение земной поверхности?

Что из себя представляет встречное излучение атмосферы?

Что из себя представляет эффективное излучение земной поверхности?

Что называют деятельной поверхностью?

Назовите составляющие радиационного баланса деятельной поверхности

Напишите уравнение радиационного баланса деятельной поверхности. Расшифруйте обозначения

Какие из составляющих радиационного баланса деятельной поверхности относятся к коротковолновому излучению, а какие – к длинноволновому?

Каков механизм конвективного теплообмена деятельной поверхности с атмосферой?

Какой характер изменения температуры воздуха с высотой характерен для (а) устойчивой; (б) неустойчивой; (в) безразличной стратификации приземного слоя атмосферы?

Что из себя представляет адвекция воздушных масс?

Что из себя представляет скрытый теплообмен деятельной поверхности с приземным слоем атмосферы?

Назовите составляющие теплового баланса деятельной поверхности

Напишите уравнение теплового баланса деятельной поверхности. Расшифруйте обозначения

Назовите, какие из нижеперечисленных факторов влияют на: (а) суммарную радиацию; (б) эффективное излучение; (в) конвективный теплообмен деятельной поверхности с атмосферой; (г) скрытый теплообмен деятельной поверхности с атмосферой.

Факторы: температура поверхности, температура воздуха, влажность почвы, влажность воздуха, облачность, высота Солнца, состояние (мутность) атмосферы, экспозиция площадки, скорость ветра

Перечислите приемы оптимизации теплообмена деятельной поверхности с приземным слоем воздуха

Приведите определение и единицы измерения удельной теплоемкости почвы.

Приведите определение и единицы измерения объемной теплоемкости почвы

Приведите схему и расчетную формулу для калориметрического способа определения теплоемкости

Перечислите факторы, влияющие на теплопроводность почвы

Нарисуйте, как теплопроводность почвы зависит от ее влажности.

Приведите схему шарового зонда и изложите принцип его работы. Какое свойство почвы определяют с помощью этого прибора?

Приведите схему цилиндрического зонда и изложите принцип его работы. Какое свойство почвы определяют с помощью этого прибора?

Приведите примеры распределенных источников и стоков тепла в почве

Напишите уравнение неразрывности. Расшифруйте все обозначения

Напишите уравнение теплопроводности. Расшифруйте все обозначения

Поясните, каков физический смысл коэффициента теплопроводности почвы. Приведите его единицы измерения

Поясните, каков физический смысл коэффициента теплопроводности почвы. Приведите его единицы измерения

Нарисуйте, как теплопроводность почвы зависит от ее влажности

Нарисуйте, как теплоемкость почвы зависит от ее влажности

Нарисуйте, как изменяется кривая зависимости теплопроводности почвы от влажности при агрогенном уплотнении

Как меняется среднегодовая температура почвы с глубиной?

Вплоть до каких глубин наблюдаются суточные колебания температуры почвы?

Напишите первый закон Фурье для распространения температурных волн в почвах. Расшифруйте все обозначения

Напишите второй закон Фурье для распространения температурных волн в почвах. Расшифруйте все обозначения

Напишите третий закон Фурье для распространения температурных волн в почвах. Расшифруйте все обозначения

Приведите схему и расскажите о принципе работы почвенных электротермометров.

Перечислите механизмы теплопереноса почвенной влаги

Каковы физические основы пародиффузионного теплопереноса почвенной влаги?

Каковы физические основы капиллярного теплопереноса почвенной влаги?

Каковы физические основы пленочного теплопереноса почвенной влаги?

Дайте определение нулевой завесы

Какие почвы называют морозными?

Какие факторы влияют на величину зимнего подтягивания почвенной влаги к поверхности почвы?

Нарисуйте кривые ОГХ одной и той же почвы при температурах  $T_1$  и  $T_2$ , таких, что  $T_1 > T_2$

Нарисуйте, как будет распределена влага в почвенной колонке после термостатирования ее торцов при температурах  $5^\circ\text{C}$  и  $15^\circ\text{C}$ . Боковая поверхность колонки обернута теплоизолирующим материалом. Начальная влажность почвы около 20 %

Нарисуйте, как будет распределена влага в почвенной колонке после термостатирования ее торцов при температурах  $-5^\circ\text{C}$  и  $+5^\circ\text{C}$ . Боковая поверхность колонки обернута теплоизолирующим материалом. Начальная влажность почвы около 20 %

Как и при каких условиях формируются ледяные шлиры (прослойки) при промерзании почвы?

Тепловые свойства мерзлых почв

Чем определяются размеры полигонов и глубина трещин при морозобойном растрескивании почвы?

Почвенно-генетические последствия промерзания

Перечислите типы гидрологических процессов при снеготаянии

Какие факторы способствуют увеличению доли поверхностного стока при снеготаянии?

Расскажите о методах измерения глубины промерзания почвы

Перечислите известные Вам снежные мелиорации

Классификация температурных режимов почв по В.Н. Димо

Подход к типизации климата почвы А.М. Шульгина

Классы температурного режима почв в соответствии с принятой в США классификацией почв

## 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.

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине</b>				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	незачет	незачет	зачет	зачет
Знания (вид оценочных средств: зачет)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

## 9. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

### Основная литература

Архангельская Т.А. Температурный режим и тепловые свойства почв // Теории и методы физики почв. Коллективная монография под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К. 2007. С. 373-401.

Архангельская Т.А. Температурный режим комплексного почвенного покрова. М.: ГЕОС. 2012. 282 с.

Димо В.Н. Тепловой режим почв СССР. М.: Колос. 1972. 260 с.

Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. 7-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2006. 582 с.

#### **Дополнительная литература**

Вершинин П.В., Мельникова М.К., Мичурин Б.Н., Мошков Б.С., Поясов Н.П., Чудновский А.Ф. Основы агрофизики. М.: Физматгиз. 1959. 903 с.

Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1986. 244 с.

Глобус А.М. О термоградиентных механизмах миграции почвенной и грунтовой влаги и передвижении воды в промерзающем грунте // Почвоведение. 1962. № 2. С. 7-18.

Кречетов П.П., Черницова О.В. Эколого-географический анализ температурного режима почв Восточно-Европейской равнины и Предкавказья. М.: Пеликан. 2007. 95 с.

Остроумов В.Е. Перераспределение ионов в почвах при промерзании // Почвоведение. 1998. № 5. С. 614-619.

Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В. Криолитология. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1985. 239 с.

Физика среды обитания растений. Под ред. А.М. Глобуса. Л.: Гидрометеиздат. 1968. 304 с.

Шкадова А.К. Температурный режим почв на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат. 1979. 240 с.

Шульгин А.М. Климат почв и его регулирование. 2-е изд. Л.: Гидрометеиздат. 1972. 341 с.

- Перечень лицензионного программного обеспечения
- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
- Описание материально-технической базы: аудитория, 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:**

Курс знакомит с основными представлениями о переносе тепла в почвах. Рассматривается энергетический баланс деятельной поверхности, а также основные механизмы переноса тепла в глубину почвенного профиля. Обсуждаются тепловые свойства почв, а именно теплоемкость, теплопроводность и температуропроводность в их связи с влажностью, текстурой, плотностью и содержанием органического вещества. Рассматриваются суточные и годовые колебания температуры различных почв при различных условиях на поверхности; обсуждается роль растительного и снежного покрова. Обсуждается также термоперенос почвенной влаги, в том числе в случае частично промерзшей почвы. Подробное рассмотрение физических механизмов поступления тепла в почву и его переноса в почве сопровождается соответствующими математическими описаниями, т. е. необходимыми формулами и уравнениями.