

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан географического факультета,  
академик РАН Добролюбов С.А.

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
МИКРОКЛИМАТОЛОГИЯ**

---

**Уровень высшего образования:**  
*бакалавриат*

---

**Направление подготовки:**  
**05.04.04 «Гидрометеорология»**

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**«Метеорология»**

---

**Форма обучения:**  
**очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
*Учебно-методической комиссией географического факультета*  
(протокол №16 от 12.10.2022)

Москва 2022

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 «Гидрометеорология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки*).  
ОС МГУ утверждены решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова (приказ по МГУ № 1383 от 30 декабря 2020 года).

Год (годы) приема на обучение: 2021

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — относится к вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения;
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на владении инструментарием дифференциального и интегрального исчисления, необходимо обладать базовыми знаниями по физике атмосферы и динамической метеорологии, владеть основами метеорологических измерений, иметь полевой опыт наблюдения микроклиматических различий стандартными методами, предусмотренный программами полевых практик после 1-го и 2-го курсов.
3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
<p><b>СПК-5</b> <i>(формируется частично)</i></p> <p>Владеет основами теоретических представлений о механизме формирования современного климатического режима и географии климата для выполнения климатологического анализа</p>	<p><b>СПК-5.1</b></p> <p>Имеет базовые представления о механизме формирования современного микроклиматического режима и географии климата для климатического анализа</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основы строения и динамики приземного слоя атмосферы (включая необходимые элементы теории турбулентности);</li> <li>• закономерности формирования естественных и антропогенных микроклиматов под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• проводить расчет параметров приземного слоя атмосферы по данным градиентных и пульсационных микрометеорологических измерений;</li> <li>• анализировать микроклиматические различия на основе данных специализированных натурных экспериментов.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• теоретическими основами решения научных и практических задач в области микроклиматологии, в т.ч. с использованием результатов расчетов глобальных и мезомасштабных атмосферных моделей;</li> <li>• методами поверки приборов в лабораторных и полевых условиях.</li> </ul>

4. Объем дисциплины (модуля) 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 не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.).

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе							
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы</i>					Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>		
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой и базами данных (включая подготовку к докладу)	Подготовка к семинарам	Всего
<b>Тема 1.</b> Введение	<b>2</b>	2				<b>2</b>			
<b>Тема 2.</b> Математическое моделирование в микроклиматологии.	<b>6</b>	2				<b>2</b>	4		<b>4</b>
<b>Тема 3.</b> Система «почва - поверхность – воздух»	<b>4</b>	2				<b>2</b>	2		<b>2</b>
<b>Тема 4.</b> Физические процессы в деятельном слое Тепловой режим почвы.	<b>4</b>	2				<b>2</b>	2		<b>2</b>
<b>Тема 5.</b> Мелиорация почв. Тепловой режим водных объектов	<b>4</b>	2				<b>2</b>	2		<b>2</b>
<b>Тема 6.</b> Турбулентность и приземный слой атмосферы	<b>4</b>	2				<b>2</b>	2		<b>2</b>
<b>Тема 7.</b> Схемы турбулентного замыкания	<b>4</b>	2				<b>2</b>	2		<b>2</b>
<b>Тема 8.</b> Связь метеорологических параметров с характеристиками турбулентности	<b>4</b>	2				<b>2</b>	2		<b>2</b>

Тема 9. Понятие о биометеорологической комфортности	10		6			6	1	3	4	
Тема 10. Методы измерений в микроклиматологии	4	2				2	2		2	
Тема 11. Типы микроклиматов Микроклимат различных форм рельефа	4	2				2	2		2	
Тема 12. Система почва-растение-воздух	4	2				2	2		2	
Тема 13. Микроклимат застроенной территории	4	2				2	2		2	
Тема 14. Моделирование климата города.	10	1	6			6	2	2	4	
Промежуточная аттестация	4	<i>Устный зачет</i>					4			
<b>ИТОГО</b>	<b>72</b>	<b>36</b>					<b>36</b>			

## Содержание лекций, семинаров

### Содержание лекций

**Тема 1. Введение.** Климат и микроклимат, их взаимодействие, связь с географией. Микроклимат как совокупность различий в метеорологическом режиме, возникающих в приземном слое воздуха и на самой земной поверхности. Масштабы процессов. Микроклиматический показатель.

**Тема 2. Математическое моделирование в микроклиматологии.** Микроклиматические аспекты мелиоративных мероприятий. Практическое значение изучения микроклимата для сельского хозяйства и охраны окружающей среды. Деятельная поверхность и деятельный слой. Виды естественных и искусственных поверхностей, их теплофизические, радиационные и термодинамические свойства.

**Тема 3. Система «почва - поверхность – воздух», взаимодействие процессов, протекающих в них.** Структура радиационного и теплового баланса простых (без растительности) поверхностей: песок, чернозем, вода, снег, лед. Особенности формирования температуры и влажности воздуха над ними (суточный ход и вертикальный профиль).

**Тема 4. Физические процессы в деятельном слое.** Тепловой режим почвы. Теплофизические характеристики почвы и их зависимость от условий увлажнения. Схемы расчета тепловых потоков в суточном деятельном слое почвы. Суточный теплооборот. Уравнения притока тепла

в почве. Законы Фурье и их микроклиматическая зависимость. Влага в почве, доступная влага, потенциал влаги. Испарение, испаряемость и их микроклиматическая изменчивость.

**Тема 5. Расчетные схемы определения количества продуктивной влаги в почве в период вегетации.** Расчет норм орошения и осушения. Мелиорация почв. Тепловой режим водных объектов. Механизмы переноса тепла: коротковолновая радиация, турбулентный теплообмен. Роль мутности воды и обмена теплом с донными отложениями. Шероховатость водной поверхности.

**Тема 6. Турбулентность и приземный слой атмосферы** Основы теории атмосферной турбулентности. Теория однородной и изотропной турбулентности. Турбулентные потоки импульса, тепла, влаги и примесей, уравнения баланса для потоков, проблема замыкания. Кинетическая энергия турбулентности (КЭТ), уравнение баланса КЭТ. Число Ричардсона, критическое число Ричардсона.

**Тема 7. Схемы турбулентного замыкания:** k-гипотеза, противогradientный перенос. Параметризации коэффициента турбулентности: формула Смагоринского, формула Колмогорова, E-ε замыкание. Пограничный слой атмосферы, приземный и приводный слой, приповерхностный слой. Внутренние пограничные слои. Понятие «следа» (области влияния) в приземном слое (footprint). Концепция высоты смешения (blending height). Обтекание воздушным потоком препятствий.

**Тема 8. Связь метеорологических параметров с характеристиками турбулентности.** Суточный ход температуры воздуха. Вертикальное распределение метеорологических параметров и стратификация атмосферы. Обмен явным и скрытым теплом. Расчетные схемы определения составляющих радиационного баланса деятельной поверхности. Теория приземного (приводного) слоя Моница-Обухова, аэродинамические формулы. Особенности формирования микроклиматических различий в различных климатических условиях. Влияние погоды на микроклимат и структуру радиационно-теплового баланса поверхности.

**Тема 9. Понятие о биометеорологической комфортности.** Основные понятия о тепловом комфорте и его влиянии на здоровье и продолжительность жизни. Отечественные индексы комфортности. Современные индексы теплового комфорта – UTCI, WBGT, PET и PMV. Оценка достоверности микроклиматических различий показателей комфортности разного генезиса. Статистическая обработка наблюдений. Работа с моделью Rauman. Использование данных о солнечной радиации на микромасштабе с часовым разрешением. Расчет индексов PET и PMV с помощью Rauman

**Тема 10. Методы измерений в микроклиматологии** Основные методы микроклиматических наблюдений. Виды микроклиматических съемок. Аппаратура для микроклиматических наблюдений. Программа и организация микроклиматических наблюдений, ее этапы. Оценка краевых эффектов и их учет. Оценка достоверности микроклиматических различий. Статистическая обработка наблюдений. Пульсационные измерения турбулентных потоков тепла и импульса. Акустические анемометры. Методология расчета турбулентных потоков.

**Тема 11. Типы микроклиматов Микроклимат различных форм рельефа.** Влияние формы, экспозиции и крутизны на радиационный режим в условиях пересеченной местности. Закономерности и различия в притоке коротковолновой радиации к склону. Учет закрытости горизонта. Тепловой баланс и микроклимат склонов в различных условиях увлажнения. Влияние рельефа на ветровой режим, температуру и

амплитуду температуры воздуха, поверхности и почвы ("правило Воейкова"), влажность воздуха и почвы, неоднородность залегания снежного покрова. Снежная и ветровая мелиорация.

**Тема 12. Система почва-растение-воздух.** Деятельный слой, генетические уровни. Фотосинтез, углекислый газообмен. Уравнение теплового баланса растительного покрова. Радиационный режим растительного покрова. Функция ослабления потоков коротковолновой радиации в слое растительности, закон Бэра, листовой индекс. Структура радиационного баланса лесного и лугового фитоценозов. Тепловой баланс леса и луга. Роль света, тепла и влаги в накоплении фитомассы. Режим турбулентности в растительном покрове. Вертикальное распределение и суточный ход составляющих теплового баланса, характеристики турбулентности и метеорологических параметров внутри растительного покрова. Подходы к моделированию взаимодействия растительного покрова с атмосферой. Исходная информация, система дифференциальных уравнений, граничные и начальные условия. Модели взаимодействия в системе «почва-растительность-атмосфера» (SVAT, Soil Vegetation Atmosphere Transfer) для прогнозирования продуктивности.

**Тема 13. Микроклимат застроенной территории.** Городской деятельный слой, его генетические уровни и слои. Уравнение радиационного и теплового баланса поверхности застроенной территории. Антропогенное тепло, его оценки. Состав воздуха в городе. Особенности радиационного режима поверхности атмосферы в городе. Режим коротковолновой радиации, прозрачности атмосферы. Баланс длинноволновой радиации, накопление тепла зданиями. Структура деятельной поверхности в городе, теплофизические характеристики. Наблюдательная сеть в городских условиях. Требования ВМО к сети городских метеорологических станций.

**Тема 14. Моделирование климата города.** Моделирование атмосферных циркуляций различных масштабов, вызванных городской застройкой. Различные подходы и типы моделей, применяющиеся для оперативного прогноза погоды и климатического прогноза. Теплобалансовые модели городского каньона. в вихререзающие (LES, Large Eddy Simulation), гидродинамические осредненные по Рейнольдсу (RANS, Reynolds-averaged Navier-Stokes), системы наукастинга DNS

#### *План проведения семинаров*

1. Доклады студентов по подготовке индивидуальных заданий (с выбором территории).
2. Обсуждение возможных проблем.
3. Выполнение индивидуального задания
4. Итоговое выступление преподавателя с оценкой выступлений и дополнениями к ним.

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

*Примерный перечень тем для индивидуального задания на семинарах*

- расчет местных метеорологических параметров с помощью моделей микроклимата
- расчет параметров термического комфорта по заданной территории

*Примерный перечень тем докладов*

- 1) Микроклимат различных форм рельефа
- 2) Микроклимат водоемов и прибрежных зон
- 3) Система почва-растение-воздух. Микроклимат залесенных территорий
- 4) Принципы моделирования микроклимата растительных сообществ
- 5) Микроклимат города. Городской остров тепла
- 6) Принципы моделирования климатического режима городских ландшафтов. Уравнение теплового баланса городского каньона
- 7) Связь микроклимата города с глобальным климатом.

*Зачет устный.*

***Примерный перечень вопросов к зачету:***

- 1) Система «почва - поверхность – воздух», взаимодействие процессов, протекающих в них
- 2) Тепловой режим почвы
- 3) Тепловой режим водных объектов
- 4) Теория однородной и изотропной турбулентности
- 5) Схемы турбулентного замыкания
- 6) Теория приземного (приводного) слоя Мони́на-Обухова, аэродинамические формулы
- 7) Пограничный слой атмосферы, приземный слой, приповерхностный слой. Внутренние пограничные слои
- 8) Основные методы микроклиматических наблюдений
- 9) Пульсационные измерения турбулентных потоков тепла и импульса
- 10) Моделирование микроклимата в микромасштабных моделях. Примеры микромасштабных моделей
- 11) Параметризация микроклиматических процессов в крупномасштабных атмосферных моделях
- 12) Микроклимат различных форм рельефа
- 13) Микроклимат водоемов и прибрежных зон
- 14) Система почва-растение-воздух. Микроклимат залесенных территорий
- 15) Принципы моделирования микроклимата растительных сообществ

- 16) Микроклимат города. Городской остров тепла  
 17) Принципы моделирования климатического режима городских ландшафтов. Уравнение теплового баланса городского каньона  
 18) Связь микроклимата города с глобальным климатом.  
 19) Биоклиматическая комфортность

**Промежуточная аттестация** по итогам освоения дисциплины – зачет *в устной форме*

### Шкала и критерии оценивания

Оценка и соответствующие оценочные средства	Незачет	Зачет
<b>Знания</b> ( <i>виды оценочных средств: защита проекта</i> )	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
<b>Умения</b> ( <i>виды оценочных средств: защита проекта</i> )	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)
<b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> ( <i>виды оценочных средств: защита проекта</i> )	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

#### 8. Ресурсное обеспечение:

- *Перечень основной и дополнительной учебной литературы.*

*Основная литература:*

1. Несмелова Е.И., Филиппова М.Г. Микроклиматология. МГУ, 1995, Ч.1, Ч.2

*Дополнительная литература:*

1. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Ч.1. М.: «Наука», 1965, 640 с

2. Oke T.R. Boundary Layer Climates, 1987, London
3. Oke T.R. Urban Climates, 2017
4. Foken T. Micrometeorology, 1998

- *Перечень нелицензионного программного обеспечения*  
Word, Excel, Paint 3D, PowerPoint.

- *Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем*  
реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

официальный сайт Федеральной службы по гидрометеорологии и охране окружающей среды: <http://www.meteorf.ru>

архив данных о моделировании климата: <http://www.ipcc.ch>

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных: [meteo.ru](http://meteo.ru)

- *Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)*

поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)

курс микрометеорологии Университета г. Вагенинген (Нидерланды) <http://www.met.wau.nl/Courses/Micrometcourse/index.html>

программное обеспечение для обработки данных пульсационных измерений Университета г. Байройт (Германия)

[http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/mm/en/software/software/software\\_dl.php?id\\_obj=96786](http://www.bayceer.uni-bayreuth.de/mm/en/software/software/software_dl.php?id_obj=96786)

сайт метеорологических систем измерений Vaisala <http://www.vaisala.com>

- Описание материально-технической базы

Учебная аудитория с мультимедийным проектором, учебная аудитория на 20 мест с набором лабораторных и стандартных метеорологических приборов и установок для их поверки.

9. Язык преподавания: русский

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс Константинов П.И., преподаватель: Константинов П.И.,

11. Разработчики программы:

Константинов Павел Игоревич, доцент кафедры метеорологии и климатологии, кандидат географических наук,

Степаненко Виктор Михайлович, в.н.с. кафедры метеорологии и климатологии, доктор физико-математических наук.