

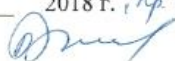
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет

«Утверждено»

Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов



Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

«29» 11 2018 г., пр. № 10


ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«МИКРОКЛИМАТОЛОГИЯ»

по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**
профиль «Метеорология»
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет**

«Утверждено»

Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов

Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

« ____ » _____ 2018 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«МИКРОКЛИМАТОЛОГИЯ»

по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**
профиль «Метеорология»
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

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 **05.03.04 «Гидрометеорология»** (*программы бакалавриата, реализуемой последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения настоящего курса является изучение вертикальной структуры и горизонтальных вариаций метеорологических условий в приземном слое воздуха, возникающих в т.ч. под влиянием неоднородностей в строении подстилающей поверхности. Курс предполагает знакомство с основными физическими процессами, принимающими участие в формировании приземного слоя и микроклимата, и закономерностями его проявления в различных формах рельефа, под влиянием растительности, водоемов, городской застройки и др.

Для этого выделяются следующие **задачи**:

- освоение знаний относительно физических особенностей формирования микроклимата (теория турбулентности, закономерности формирования теплового баланса поверхностей)
- изучение географических особенностей различных ландшафтов
- изучение способов моделирования микроклиматических различий на различных временных масштабах.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина входит в модуль «Климатология» профессионального цикла вариативной части ООП профиля «Метеорология». Курс обязательный и преподается на 4-м курсе, в 7-м семестре.

Курсу предшествуют дисциплины «Физическая метеорология», «Динамическая метеорология», курсы математического и естественнонаучного блоков, а также географические предметы (биогеография, геоморфология, почвоведение) которые содержат необходимые теоретические основы. Знания, полученные в курсе «Микроклиматология», будут затем использоваться в курсах магистерских программ по направлению «Гидрометеорология».

Перед началом освоения дисциплины «Микроклиматология» студент должен владеть инструментарием дифференциального и интегрального исчисления, 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.

По окончании освоения дисциплины студент должен иметь базовые представления о строении и динамике приземного слоя атмосферы (включая необходимые элементы теории турбулентности), а также о закономерностях формирования естественных и антропогенных микроклиматов под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций. В соответствии с ОС МГУ и «Оценочными и методическими материалами формирования компетенций, оценивания уровня знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности у обучающихся и выпускников» освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций и получение следующих результатов обучения:

- владение знаниями о физических и химических процессах, протекающих в атмосфере и о взаимодействии атмосферы с земной (морской) поверхностью и биосферой при решении практических и научных задач метеорологии (СПК-1.Б, формируется частично);

- владение основами теоретических представлений о механизме формирования современного климатического режима и географии климата для выполнения климатологического анализа (СПК-5.Б, формируется частично).

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: основы строения и динамики приземного слоя атмосферы (включая необходимые элементы теории турбулентности), закономерности формирования естественных и антропогенных микроклиматов под влиянием неоднородностей подстилающей поверхности;

Уметь: проводить расчет параметров приземного слоя атмосферы по данным градиентных и пульсационных микрометеорологических измерений, анализировать микроклиматические различия на основе данных специализированных натуральных экспериментов;

Владеть: теоретическими основами решения научных и практических задач в области микроклиматологии, в т.ч. с использованием результатов расчетов глобальных и мезомасштабных атмосферных моделей.

4. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины и виды учебной работы.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа.

Общая аудиторная нагрузка – 36 часов, в т.ч. лекции – 18 часов и семинары – 18 часов.

Объем самостоятельной работы студентов – 36 академических часов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая СРС и трудоемкость (в часах)		СРС	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекция	семинар		
				Контактная работа			
1	Введение	7	1	1	1	1	
2	Физические процессы в деятельном слое	7	2-3	2	2	4	
3	Турбулентность и приземный слой атмосферы	7	4-5	2	2	4	
4	Понятие о биометеорологической комфортности	7	6-8	3	3	4	
5	Методы измерений в микроклиматологии	7	9	1	1	2	
6	Микроклимат различных форм рельефа	7	10-11	2	1	2	
7	Микроклимат водоемов и побережий	7	11-12	1	2	2	
8	Система почва-растение-воздух	7	13-14	2	1	2	

9	Микроклимат застроенной территории	7	14-15	1	2	2	коллоквиум по разделу «Типы микроклиматов»
10	Моделирование микроклимата в микромасштабных моделях	7	16-17	2	2	6	индивидуальное задание
11	Параметризация микроклиматических процессов в крупномасштабных атмосферных моделях	7	18	1	1	4	
	Промежуточная аттестация					3	Зачет
	Итого	7	18	18	18	36	

5. Содержание дисциплины

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 почву. 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 Мони́на-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 мелiorация.

Тема 12. Влияние размеров и глубины водоема на турбулентную теплопроводность и температурный режим водоема. Особенности суточного хода температуры, влажности, ветра, атмосферного давления над водоемом и побережьем. Бризы и их микроклиматический эффект.

Тема 13. 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 14. 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 горо-

де. 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 15. Особенности приземного слоя воздуха над городом. Турбулентный режим и его особенности внутри и над городской застройкой. Ветер в условиях города. Остров тепла, его вертикальная и горизонтальная структура. Городской бриз. Вертикальное распределение температуры в городе. Инверсии температуры. Особенности режима осадков в городе, влажности воздуха. Водный баланс города. Смоги. Мелиорация городского микроклимата. Роль озеленения, планировки и застройки. Меры борьбы с загрязнением воздушного бассейна. Влияние городов на глобальный климат.

Тема 16. Моделирование микроклимата в микромасштабных моделях. Модели статические (теплого баланса), физико-статистические, гидродинамические вихре-разрешающие (LES, Large Eddy Simulation), гидродинамические осредненные по Рейнольдсу (RANS, Reynolds-averaged Navier-Stokes), системы наукастинга DNS

Тема 17. Моделирование климата города. Моделирование атмосферных циркуляций различных масштабов, вызванных городской застройкой. Различные подходы и типы моделей, применяющиеся для оперативного прогноза погоды и климатического прогноза. Теплбалансовые модели городского каньона.

Тема 18. Параметризация микроклиматических процессов в региональных и глобальных атмосферных моделях. Схемы деятельного слоя суши в системах численного прогноза погоды и моделях климата. Схемы представления подсеточного распределения типов подстилающей поверхности. Методы агрегирования параметров и агрегирования потоков. Включение данных о растительности в глобальные и региональные модели атмосферы. Базы данных характеристик подстилающей поверхности.

План проведения семинаров

Семинары проводятся в соответствии с темами разделов дисциплины. В рамках семинаров даются индивидуальные задания для аттестации по каждому разделу.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Самостоятельная работа студентов заключается в проработке материала лекций и подготовке к коллективному обсуждению на семинарских занятиях по заданным темам и написанию реферата.

Учебная внеаудиторная деятельность, выполняемая в часы, отведенные студенту для самостоятельной работы, проводится с целью закрепления и углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины;
- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к семинарским занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля.

Самостоятельная работа студентов обеспечена следующими материалами:

- учебно-методическими материалами по основным разделам дисциплины.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Примерный перечень тем для индивидуального задания

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

Примерный перечень вопросов к коллоквиуму по разделу «Типы микроклиматов»:

- 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.

8. Формы и содержание промежуточной аттестации

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 Монина-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

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО)

Для зачета		
	Оценка	Зачет
РО и соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет

Знания (виды оценочных средств: коллоквиум)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения (виды оценочных средств: индивидуальные задания)	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)
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: индивидуальные задания)	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

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

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

б) дополнительная литература

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

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы – профессиональные базы данных и информационные справочные системы

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

[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)

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория с мультимедийным проектором, экраном, доской для мела или фломастеров.

11. Контролирующие материалы по дисциплине (ФОС)

Тест контроля усвоенных знаний (в случае отрицательных ответов менее, чем на 50%, знания студента признаются неудовлетворительными)

1. Выписать основное уравнение теплового баланса земной поверхности
2. Выписать основное уравнение пульсационных измерений
3. Назвать основные современные технологии для проведения микроклиматических измерений
4. Назвать несколько холодных и теплых индексов комфортности
5. Привести пример изменчивости уравнения теплового баланса для различных ландшафтов
6. Перечислить основные модельные комплексы для регионального и микроклиматического моделирования

Программа одобрена на заседании кафедры метеорологии и климатологии
Протокол № 632 от 20 ноября 2018 г.

Зав. кафедрой метеорологии и климатологии
д.г.н., профессор

_____ А.В. Кислов
подпись

Разработчики:

Степаненко
Виктор Михайлович

к.ф.-м.н., с.н.с.

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет ка-
федра метеорологии и климато-
логии

Константинов
Павел Игоревич

к.г.н., ст.преп.

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, ка-
федра метеорологии и климато-
логии

Эксперт:

Суркова
Галина Вячеславовна

д.г.н., доцент

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, кафедра
метеорологии и климатологии