

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

«УТВЕРЖДАЮ»

Декан географического факультета,  
член-корреспондент РАН

\_\_\_\_\_ /С.А. Добролюбов/

«31» мая 2022 г.

## **ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

**(для осуществления приема на обучение по образовательным  
программам высшего образования – программам подготовки  
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре)**

**по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате**

Программа утверждена  
Приказом по географическому факультету  
№ 149ас от «31» мая 2022 г.

## I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Настоящая программа предназначена для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате и содержит основные темы и вопросы к экзамену, список основной и дополнительной литературы и критерии оценивания. (все темы и вопросы должны быть не выше ФГОС ВО магистратуры и специалитета)

## II. ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

### 1. Общая метеорология

Строение атмосферы. Газовый состав воздуха у земной поверхности и на высотах. Озон, углекислый газ, аэрозоли и водяной пар: концентрация, распределение по высотам, годовой ход, роль в физико-химических процессах.

Основные метеорологические величины, их размерности. Виды метеорологических измерений: *in situ* и дистанционные. Точность измерений в метеорологии. Всемирная служба погоды.

Молекулярно-кинетическая теория применительно к атмосферным газам. Уравнение состояния сухого и влажного воздуха.

Барометрическая формула Больцмана. Диссипация газов в верхней атмосфере.

Уравнение статики атмосферы. Барометрические формулы. Барическая ступень. Геопотенциал. Связь геопотенциала с температурой столба воздуха.

Первое и второе начала термодинамики. Потенциальная температура, энтальпия и энтропия. Адиабатические и политропические процессы в атмосфере. Сухо и влажно-адиабатический градиент температуры.

Критерии атмосферной устойчивости: метод частицы и метод слоя. Учет вовлечения. Частота Брента-Вяйселя. Стратификация атмосферы. Термодинамические диаграммы. Энергия неустойчивости.

Уравнение притока тепла. Факторы, определяющие изменение температуры в приземном, планетарном пограничном слое и в свободной атмосфере

Перенос тепла в деятельном слое суши и водоемов. Поток тепла в почву, законы Фурье.

Уравнение теплового баланса деятельной поверхности.

Турбулентный обмен теплом, водяным паром и импульсом атмосферы и подстилающей поверхности (общая формулировка, балк-формулы, теория Монино-Обухова, эмпирические формулы).

Равновесие фаз в атмосфере. Уравнение Клаузиса-Клапейрона.

Испарение с водной поверхности и с поверхности суши.

Облака: классификация, микрофизическая структура, водность. Общая теория процесса укрупнения облачных элементов. Гравитационная, броуновская и турбулентная коагуляция. Бергероновский процесс.

Физические механизмы возникновения атмосферных осадков. Классификация осадков.

Силы, действующие в атмосфере. Уравнение движения воздуха в векторной и скалярной форме.

Геострофический ветер. Движение в случае прямолинейных и круговых изобар в свободной атмосфере.

Изменение ветра с высотой в свободной атмосфере. Термический ветер..

Волновые и вихреобразные движения в атмосфере.

Уравнение движения в пограничном слое в случае стационарного прямолинейного течения. Спираль Экмана.

Характеристики атмосферной турбулентности.

## 2. Радиация

Солнце и солнечная активность. Солнечная постоянная.

Распространение электромагнитного излучения в атмосфере. Уравнения Максвелла. Законы излучения. Основные радиометрические величины.

Электромагнитная теория рассеяния в атмосфере. Релеевское рассеяние и теория Ми.

Молекулярное поглощение в атмосфере. Контур спектральной линии.

Уравнение переноса радиации с учетом рассеяния и методы его решения. Скорости нагревания и охлаждения в атмосфере за счет коротковолнового и длинноволнового излучения.

Оптические свойства подстилающей поверхности.

Приближение геометрической оптики.

Особые явления в атмосфере: сумерки, радуга, гало.

Основные фотометрические величины. Естественная освещенность земной поверхности.

## 3. Динамика атмосферы

Уравнения гидротермодинамики: сохранения массы, импульса, притока тепла и влаги. Связь напряжений трения с деформацией в сплошной среде. Уравнения Навье-Стокса.

Примитивные уравнения.

Упрощение уравнений для процессов крупного масштаба. Геострофическое приближение, гидростатика.

Уравнения Рейнольдса. Сеточные и подсеточные процессы. Проблема параметризации (замыкания).

Уравнение эволюции завихренности. Квазигеострофическая теория. Уравнение потенциального вихря.

Бароклинная и баротропная неустойчивость. Доступная потенциальная энергия. Цикл Лоренца

Волны в атмосфере: Россби, Кельвина, Пуанкаре, внутренние гравитационные

волны, акустические волны.

Генерация турбулентности в атмосфере. Однородная и изотропная турбулентность. Мелкомасштабная структура турбулентных полей скорости и пассивной примеси.

Приземный и приподнятый слои. Теория подобия Монина-Обухова. Пограничный слой атмосферы.

Математические модели общей циркуляции атмосферы. Граничные и начальные условия.

Основы численных методов решения задач динамики атмосферы. Понятия конечной разности, аппроксимации, устойчивости, монотонности конечно-разностных схем модели атмосферы и ее бесшовности.

Современные оперативные системы численного прогноза погоды.

Усвоение данных наблюдений в моделях атмосферы. Оптимальная интерполяция, трехмерное и четырехмерное вариационное усвоение, фильтр Калмана.

#### **4. Синоптическая метеорология**

Синоптический метод исследования и предсказания погоды: основные приемы и принципы. Системы получения метеорологической информации.

Синоптический анализ полей метеорологических элементов: барическое поле и ветер, поле температуры и влажности, поле потенциального вихря, поле вертикальных движений, облачности и осадков.

Воздушные массы в тропосфере, классификация, основные свойства, трансформация.

Поверхности раздела в атмосфере, атмосферные фронты, фронтогенез. Планетарные высотные фронтальные зоны и струйные течения.

Бароклинные вихри умеренных широт, циклоническая деятельность, теории фронтального циклогенеза.

Синоптические процессы тропической атмосферы. Экваториальные волны. Восточные волны. Депрессии. Тропические циклоны. Ураганы.

Основные элементы планетарной циркуляции. Ячейки Хэдли и Уокера, внутритропическая зона конвергенции, муссоны, пассаты, западный перенос.

Изменчивость общей циркуляции атмосферы и региональных циркуляций декадного, межгодового и внутрисезонного масштаба. Тихоокеанская декадная осцилляция, Атлантическое мультидекадное колебание, Арктическая и Антарктическая осцилляции, Северо-Атлантическое колебание, Эль-Ниньо - Южное колебание, Колебание Маддена-Джулиана, и др.

Особенности термического и циркуляционного режима стратосферы и мезосферы. Взаимодействие с тропосферой. Роль атмосферных волн в формировании циркуляции средней атмосферы.

Орографические циркуляции: подветренные бури, кататические и горно-долинные ветры.

Бризы. Озерные эффекты. Глубокая конвекция: физические механизмы, данные

наблюдений, моделирование.

Линии шквалов.

Мезомасштабная структура атмосферных фронтов. Полярные мезоциклоны.

Технология составления краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды.

Система усвоения данных.

Прогнозирование состава воздуха и биологически активных веществ (аллергенов).

Авиационные, морские и др., специализированные прогнозы. Прогноз опасных явлений погоды. Долгосрочные прогнозы погоды.

Международное сотрудничество в области прогноза погоды. Всемирная метеорологическая организация (ВМО).

## 5. Климатология

Климатообразующие свойства атмосферы, Мирового океана, криосферы, суши. Глобальный круговорот водяного пара. Углекислый газ в атмосфере и глобальный цикл углерода. Антропогенно-обусловленный рост содержания CO<sub>2</sub> (и других парниковых газов) в атмосфере.

Классификации климатов (Б.П.Алисова, В.Кеппена, Л.С.Берга, М.И.Будыко - А.А.Григорьева, Р.Холдриджа).

Метеорологические поля у земной поверхности и микроклиматические особенности.

Радиационный режим планеты Земля. Тепловой баланс климатической системы.

Составляющие радиационного баланса у поверхности Земли и факторы их определяющие.

Межширотный перенос энергии атмосферными и океаническими движениями. Роль «средней» циркуляции, стационарных и нестационарных вихрей и волн, перенос энергии в атмосфере и океанах.

Угловой момент и неравномерность вращения Земли. Источники и стоки углового момента. Уравнение углового момента системы атмосфера – планета.

Механизмы солнечно-земных связей и их климатообразующая роль.

Моделирование климата. Современные климатические модели и модели Земной системы.

Климат фанерозоя, кайнозойской эры, плейстоцена, голоцена.

Изменения климата за последние ~2000 лет. Изменения климата в современную эпоху.

Комплексная оценка последствий потепления климата XXI века. Адаптация к изменениям климата и управление глобальным климатом.

Международное сотрудничество в области изучения климата. Межправительственная группа экспертов (IPCC). Проекты СМIP.

Климатическая доктрина Российской Федерации.

## **6. Агрометеорология**

Основные принципы агрометеорологического обеспечения сельского хозяйства. Системы получения агрометеорологической информации. Оперативный мониторинг агрометеорологических условий.

Метеорологические явления, опасные для сельского хозяйства. Неблагоприятные агрометеорологические условия в период проведения сева, появления всходов, роста, развития и формирования урожая.

Перезимовка озимых зерновых культур. Основные причины зимних повреждений. Роль снежного покрова.

Влияние изменений климата на сельскохозяйственную отрасль, возможные пути адаптации сельского хозяйства к наблюдающимся и прогнозируемым изменениям.

Агроклиматическое районирование, суммы активных и эффективных температур. Агроклиматические аналоги.

Научные основы методов прогноза урожайности основных с.-х. культур.

## **7. Экология**

Роль климата в формировании среды обитания человека и растений. Международные соглашения о средах обитания (Киотский протокол, Парижское соглашение и др.).

Естественные и антропогенные источники загрязнения атмосферы. Понятие о предельно допустимых концентрациях (ПДК), предельно допустимой экологической нагрузке.

Методы мониторинга атмосферы. Общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения природной среды.

Эколого-климатические аспекты биоразнообразия растений.

Природные и антропогенные катастрофы и экологические последствия.

Озон в стратосфере и тропосфере. Озоновые дыры. Экологические проблемы.

Биологически-активная УФ радиация и УФ ресурсы.

Аэрозоли. Источники и стоки.

Комфортность/дискомфортность урбанизированной среды.

## **8. Основные наблюдательные системы для исследования атмосферы и океана**

Методы измерения турбулентных потоков с помощью акустических анемометров.

Методы измерений составляющих радиационного баланса у поверхности земли и на верхней границе атмосферы. Прямые и обратные задачи теории радиационного переноса и атмосферной оптики.

Аэрологические измерения. Датчики. Радиозонды. Аэрологическая сеть,

радиолокаторы АВК и МАРЛ. Код КН-04. Навигационные системы радиозондирования, виды специального радиозондирования.

Самолётное зондирование атмосферы.

Зондирование атмосферы с использованием свободных аэростатов, привязных аэростатов, метеорологических змеев и приборов на высотных сооружениях.

Ракетное зондирование атмосферы. Стандартная и справочные атмосферы.

Импульсные и доплеровские метеорологические радиолокаторы. Потенциал метеорологического радиолокатора и радиолокационная отражаемость облаков и осадков. Радиолокаторы МРЛ-5 и ДМРЛ-С.

Принципы работы микроволновых радиометров и их применение в метеорологии. Радиометр МТП-5.

Акустическое зондирование. Основы теории рассеяния звуковых волн в атмосфере. Акустические локаторы (сонары).

Применение лидаров для целей дистанционного зондирования атмосферы.

Измерение атмосферных потоков с помощью метода турбулентных пульсаций (eddy covariance) и камерного метода.

Дистанционное зондирование Земли из космоса и требования, предъявляемые к наблюдениям с помощью метеорологических искусственных спутников Земли. Основы теории движения небесных тел и искусственных спутников Земли. Космические комплексы, используемые для метеорологического мониторинга. Структура спутниковой гидрометеорологической информации. Основные направления обработки и интерпретации данных спутниковых наблюдений.

Физические основы измерений, выполняемых со спутников. Методы определения важнейших метеорологических характеристик с помощью спутникового дистанционного зондирования.

Методы распознавания естественных объектов (облачности, снега, льда и т.д.) по данным спутниковых наблюдений.

### **III. РЕФЕРАТ ПО ИЗБРАННОМУ НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ**

Реферат по избранному направлению подготовки представляет собой обзор литературы по теме будущего научного исследования и позволяет понять основные задачи и перспективы развития темы будущей диссертационной работы. Реферат включает титульный лист, содержательную часть, выводы и список литературных источников. Объем реферата 15–20 страниц машинописного текста. В отзыве к реферату предполагаемый научный руководитель дает характеристику работы и рекомендуемую оценку, входящую в общий экзаменационный балл.

### **IV. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА**

**Вопрос 1.** Основы численных методов решения задач динамики атмосферы.

**Вопрос 2.** Современные системы температурно-ветрового зондирования атмосферы.

**Вопрос 3.** Содержание реферата по теме диссертационного исследования (с приложением реферата и отзыва на реферат с отметкой предполагаемого научного руководителя).

## V. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Бримблкумб П.* Состав и химия атмосферы. – М.: Мир, 1988.
2. *Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М.* Мезометеорологические процессы-Москва, Географический факультет МГУ, 2007
3. *Володин Е.М.* Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы. Курс лекций. – М.: ИВМ РАН, 2007.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014.
5. *Гандин К.* Объективный анализ метеорологических полей. Л.:Гидрометеиздат, 1984.
6. *Гилл А.* Динамика атмосферы и океана. – М.: Мир, 1986.
7. *Говердовский В.Ф.* Космическая метеорология. Ч. I. Спутниковая метеорология. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009.
8. *Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшная В.Н.* Агрометеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 311 с.
9. *Гущина Д.Ю.* Синоптическая метеорология. Атмосферные фронты. Учеб. пособие. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2013,106 ст.
10. *Гущина Д.Ю.* Синоптическая метеорология. Анализ метеорологических полей. Учеб.пособие. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2014, 114 ст.
11. *Зилитинкевич С.С.* Атмосферная турбулентность и планетарные пограничные слои. – М.: Физматлит, 2013. –243 с.
12. *Исаев А.А.* Экологическая климатология. – М.: Научный Мир, 2003.– 472 с.
13. *Калинин Н.А. Толмачева Н.И.* Космические методы исследований в метеорологии. Пермь: Перм. Ун-т, 2005-348с.
14. *Кислов А.В., Суркова Г.В.* Климатология. Учебник. 4-е изд. – М.: Академия, 2020. –352 с.
15. Климат России. Под ред. Н.В. Кобышевой. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. –656 с.
16. Климатическая доктрина Российской Федерации 17 декабря 2009г., № 861-рп.
17. *Курбацкий А.Ф.* Лекции по турбулентности. Учеб.пособие. Новосибирск, 2000.
18. *Лиоу К.Н.* Основы радиационных процессов в атмосфере. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. –376 с.
19. *Матвеев Л.Т.* Физическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1984, 2001.
20. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем. – М: Гидрометеиздат, 2012.
21. *Павлов Н.Ф.* Аэрология, радиометеорология и техника безопасности. – Л.: Гидрометеиздат, 1980.
23. *Суркова Г.В.* Химия атмосферы. Учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2021. –210 с.
24. *Тимофеев Ю.М., Васильев А.В.* Теоретические основы атмосферной оптики. – СПб.: Наука, 2003. –474 с.
25. *Шульгин И.А.* Лучистая энергия и энергетический баланс растений. – М.: Альтекс, 2004.
26. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. Под ред. Н.С. Касимова и А.В. Кислова. – М.: МАКС Пресс, 2011. –496 с.
27. *Barry R.G.* Mountains and their climatological study//Mountain Weather and Climate.-2008.-Т.3.-С.532.
28. *Holton J.,Nakim D.* An Introduction to Dynamic Meteorology, 5 th Edition.- Academic Press, 2013.-532 p.



29. Wallace J.M., Hobbs P.V. Atmospheric Science. Second Edition. – Amsterdam: Elsevier. 2005-484 p.

## VI. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень знаний поступающих в аспирантуру МГУ оценивается по десятибалльной шкале. При отсутствии поступающего на вступительном экзамене в качестве оценки проставляется неявка. Результаты сдачи вступительных экзаменов сообщаются поступающим в течение трех дней со дня экзамена путем их размещения на сайте и информационном стенде структурного подразделения. Вступительное испытание считается пройденным, если абитуриент получил семь баллов и выше.

### Критерии и показатели оценивания ответа на вступительном экзамене по специальности поступающих в аспирантуру географического факультета МГУ

Вступительный экзамен по специальности в аспирантуру географического факультета проводится в устной форме, по экзаменационным билетам, и состоит из 3х вопросов (2х вопросов по различным разделам программы вступительного экзамена и вопросу по реферату). Ответ поступающего в аспирантуру оценивается по 10-балльной шкале.

Минимальный уровень знаний	0	Нет ответа ни на один из трех заданных вопросов, либо отказ от ответа.
	1	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, существенные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
	2	Отсутствуют ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные недочеты при изложении темы реферата, выявленные при его экспертной оценке, либо указанные в отзыве.
Низкий уровень знаний	3	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	4	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, неполный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Средний уровень знаний	5	Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, полный ответ на второй заданный теоретический вопрос, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	6	Неполные ответы на оба заданных теоретических вопроса, значительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, за исключением изложения темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Достаточный уровень	7	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

	8	Полные ответы на оба заданных теоретических вопроса, незначительные трудности в сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
Высокий уровень знаний	9	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, имеются недочеты при сопоставлении и анализе сведений из различных разделов программы, либо незначительные недочеты при изложении темы реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).
	10	Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом, грамотные сопоставление и анализ сведений из различных разделов программы, уверенное владение темой реферата (на основе его экспертной оценки, либо отзыва).

## VII. АВТОР

А.В. Кислов, профессор, д.г.н., заведующий кафедрой метеорологии и климатологии географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова