

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

**ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического  
факультета МГУ



*/ В.В. Белокуров /*

«21» *марта* 2024 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ  
КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**1.6.18 Науки об атмосфере и климате**

Шифр и наименование области науки

**1. Естественные науки**

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени

**Физико-математические науки**

## **I. Описание программы**

Программа-минимум кандидатского экзамена, разработана Физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова на основе паспорта научной специальности, утвержденного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.6.18 Науки об атмосфере и климате, в отрасли физико-математических наук.

## **II. Основные разделы и вопросы к экзамену**

### **Тема 1. Общие вопросы**

Происхождение атмосферы и гидросферы Земли. Условия существования атмосферы и гидросферы.

Физические свойства воздуха. Влажность воздуха. Уравнения состояния воздуха. Баротропность и бароклинность.

Состав атмосферы Земли и изменение его с высотой. Гомосфера и гетеросфера. Распределение по высоте температуры, плотности, давления и влажности. Барометрическая формула.

Вертикальное распределение температуры в океане. Соленость океана

### **Тема 2. Классическая аэрогидродинамика**

Понятие сплошной среды. Подходы Лагранжа и Эйлера к описанию движения сплошной среды.

Уравнение неразрывности. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса. Массовые и поверхностные силы.

Подходы к упрощению уравнений гидродинамики. Потенциальное и вихревое движения. Гидростатика. Уравнение Бернулли.

### **Тема 3. Динамика атмосферы и гидросферы**

Силы, действующие в атмосфере и гидросфере. Уравнения переноса импульса, тепла и примеси.

Плотностная стратификация и ее устойчивость. Адиабатический градиент. Частота Вьяйсяля-Брента. Внутренние волны.

Термогравитационная конвекция. Уравнения Буссинеска.

Гидростатическое приближение. Теория мелкой воды.

Геострофическое приближение. Число Россби. Геострофическое приспособление. Радиус деформации Россби.

Инерционные колебания. Теорема Тейлора-Праудмена. Сохранение потенциального вихря.

Общая циркуляция атмосферы и океана. Струйные течения. Муссоны. Центры действия атмосферы. Внетропические циклоны и антициклоны. Блокирующие антициклоны. Фронты. Тропические циклоны, тайфуны/ураганы. Полярные мезоциклоны. Бриз. Смерчи/торнадо.

Морские течения, их классификация. Задача Экмана о дрейфовом течении. Структура основных океанических течений и методы их изучения.

Волновые движения в атмосфере и гидросфере. Гравитационные, акустические, капиллярные и инерционные волны. Волны Россби, Пуанкаре и Кельвина.

Дисперсионное соотношение для гравитационно-капиллярных волн на воде. Фазовая и групповая скорости волн. Нормальная и аномальная дисперсия.

Скорость звука в воздухе и воде. Особенности распространения звука в атмосфере и океане. Акустические методы исследования атмосферы.

#### **Тема 4. Устойчивость течений и турбулентность**

Турбулентные и ламинарные течения. Механизмы генерации турбулентности в атмосфере и гидросфере.

Устойчивость течений. Сдвиговая и конвективная неустойчивости. Числа Рейнольдса и Рэлея.

Уравнения Рейнольдса. Проблема замыкания уравнений Рейнольдса.

Полуэмпирические теории турбулентности. Пограничные слои.

Теория Колмогорова-Обухова. Спектр турбулентности.

Влияние плотностной стратификации на турбулентность. Число Ричардсона. Масштаб Ozmidova.

#### **Тема 5. Термодинамика атмосферы и гидросферы**

Атмосфера и океан как термодинамическая система. Поглощение и рассеяние радиации атмосферными газами и примесями. Парниковый эффект.

Тепломассообмен между океаном и атмосферой.

Гидрологический цикл. Конденсация и туманы. Облака.

Изотермический, адиабатический и влажно-адиабатический процессы в атмосфере.

#### **Тема 6. Электрические явления в атмосфере**

Проводимость воздуха. Ионобразование в атмосфере Земли.

Электрические заряды в облаках. Механизмы разделения зарядов в облаках. Молнии. Грозы.

Атмосферное электричество и метеорологические процессы. Глобальная электрическая цепь.

#### **Тема 7. Распространение электромагнитных волн в атмосфере и океане**

Солнечное излучение. Солнечная постоянная. Распределение энергии по спектру.

Электромагнитные волны и перенос излучения в атмосфере. Радиационный теплообмен. Атмосферная и ионосферная рефракция.

Рассеяние Рэлея и Ми. Деполяризация рассеянного излучения, параметры Стокса.

Оптические явления в атмосфере.

Дистанционное зондирование атмосферы и океана.

#### **Тема 8. Физика средней и верхней атмосферы**

Состав и структура средней и верхней атмосферы. Общая циркуляция и волновые режимы. Перламутровые и серебристые облака.

Озоновый слой и его роль в атмосфере Земли. Особенности пространственно-временной изменчивости атмосферного озона. Естественные и антропогенные процессы, влияющие на озоновый слой. Озоновые дыры.

Методы дистанционного зондирования средней и верхней атмосферы.

Строение и состав ионосферы. Процессы в ионосфере. Чепменовский слой.

Магнитосфера Земли. Ионосферно-магнитосферное взаимодействие. Радиационные пояса. Распространение электромагнитных волн в ионосфере. Критические частоты ионосферных слоев.

Солнечный ветер. Полярные сияния. Свечение ночного неба, механизмы возбуждения эмиссий. Солнечно-земные связи и космическая погода.

### **Тема 9. Климатические процессы**

Общая структура климатической системы.

Климатическая изменчивость, квазициклические процессы в земной климатической системе.

Предсказуемость атмосферных и климатических процессов.

Палеоклиматы. Циклы Миланковича.

Климатические модели — от энергобалансовых до моделей общей циркуляции.

Биогеохимические циклы в земной климатической системе. Модели земной системы.

Параметры чувствительности земной климатической системы к внешним воздействиям. Климатические обратные связи.

Роль естественных и антропогенных факторов в изменениях климата.

## **III. Критерии оценивания**

<b>Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене</b>			
<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>
Фрагментарные знания в области наук об атмосфере и климате	Неполные знания в области наук об атмосфере и климате	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области наук об атмосфере и климате	Сформированные и систематические знания в области наук об атмосфере и климате

## **IV. Рекомендуемая основная литература**

1. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Гидрометеиздат, 1987
2. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988
3. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 1, 2. М.: Мир, 1986
4. Голицын Г.С. Введение в динамику планетных атмосфер. Гидрометеиздат, 1973
5. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. М.: Мир, 1978
6. Курганский М.В. Введение в крупномасштабную динамику атмосферы. Гидрометеиздат, 1993
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Т. VI, М.: Наука, 1986
8. Ле Блон П. Х., Майсек Л.А. Волны в океане. Ч.1, Ч.2, М.: Мир, 1981

9. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Гидрометеиздат, 1970
10. Лю Ку-Нан Основы радиационных процессов в атмосфере, Гидрометеиздат, 1984
11. МакКарти Э. Оптика атмосферы, М.: Мир, 1979
12. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Гидрометеиздат, 1992
13. Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы. Гидрометеиздат, 1993
14. Носов М.А. Лекции по теории турбулентности. М.: Янус-К, 2013
15. Океанология: Физика океана. Т.1, Т.2. М.: Наука, 1978
16. Ратклифф Дж. Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975
17. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. М.: МГУ, 1986
18. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М.: Мир, 1981
19. Шифрин К.С. Введение в оптику океана, Гидрометеиздат, 1983

#### **V. Рекомендуемая дополнительная литература**

1. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х. Озонный щит Земли и его изменения. Гидрометеиздат, 1992
2. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. М. Гостехиздат, 1955
3. Гледзер Е.Б., Должанский Ф.В., Обухов А.М. Системы гидродинамического типа и их применение. М.: Наука, 1981
4. Гусев А.М. Курс общей геофизики. Основы океанологии. М.: МГУ, 1983
5. Дикий Л.А. Гидродинамическая устойчивость и динамика атмосферы. Гидрометеиздат, 1976
6. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973
7. Интенсивные атмосферные вихри и их динамика. Под ред. И.И. Мохова, М.В.Курганского, О.Г.Чхетиани. М.:ГЕОС, 2018
8. Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. М.: Наука, 1986
9. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях. М.: Мир, 1981
10. Монин А.С., Озмидов Р.В. Океанская турбулентность. Гидрометеиздат, 1981
11. Носов М.А. Введение в теорию волн цунами. М.: Янус-К, 2019
12. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Гидрометеиздат, 1988
13. Общая геофизика. Под ред. В.А. Магницкого, М.: МГУ, 1995
14. Педлоски Д. Геофизическая гидродинамика: В 2-х т. Мир, 1984
15. Пивоваров А.А. Термика океана. М.: МГУ, 1979
16. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. М., Гидрометеиздат. 1980
17. Харгривс Дж.К., Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Гидрометеиздат, 1982
18. Шулейкин В.В. Физика моря. М., Наука, 1968
19. Marshall J., Plumb R.A. Atmosphere, Ocean and Climate Dynamics: An Introductory Text, Elsevier Academic Press, 2008
20. Thorpe S.A. An introduction to ocean turbulence. Cambridge University Press, 2007