

## **ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

### **Кандидатского экзамена по специальности**

#### **1.6.18 – Науки об атмосфере и климате**

#### **СТРОЕНИЕ И СОСТАВ АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА**

Состав атмосферы и изменение его с высотой. Распределение по высоте температуры, плотности, давления и влажности. Классификация различных слоёв атмосферы. Современные модели атмосферы.

Состав морской воды. Вертикальное распределение температуры, солёности и плотности в океане. Основные слои Мирового океана.

Основные характеристики атмосфер планет Солнечной системы. Особенности состава и радиационного баланса планетных атмосфер. Современные представления об атмосферах экзопланет.

#### **ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА И ВОД СУШИ**

Силы, вызывающие течения в атмосфере и океане. Уравнения движения с учётом массовых и объёмных сил. Учёт вращения, термодинамики, вязкости. Полная система уравнений. Упрощение за счёт линеаризации термодинамических величин (по Буссинеску). Упрощение уравнений для процессов крупного масштаба. Геострофическое приближение. Особенности эффектов вращения и стратификации в применении к атмосферным и океаническим процессам крупного масштаба. Потенциальный вихрь Эртеля. Понятие об общей циркуляции атмосферы и океана. Синоптические вихри в океане. Волны Россби. Термический ветер. Циклоны и антициклоны, фронты, струйные течения. Понятие о синоптическом и численном прогнозе погоды.

Силы трения в атмосфере и океане. Приземный и приводный слои. Пограничный слой атмосферы.

Морские течения, их классификация. Структура основных океанических течений и методы их изучения.

Упрощение уравнений гидротермодинамики для процессов среднего масштаба. Роль стратифицированности атмосферы и океана, частота Брента-Вейсяля. Модели обтекания гор. Бора, бриз. Внутренние гравитационные волны, возможность передачи энергии по вертикали до больших высот. Неустойчивость атмосферных и океанических процессов крупного, среднего

и микромасштабов. Баротропная и бароклинная неустойчивости. Вертикальная неустойчивость с учетом стратифицированности. Опрокидывание внутренних гравитационных волн по высоте.

Конвективные процессы в атмосфере и их проявление в облачности; ячейковая облачность. Гидротермодинамика грозовых атмосферных процессов, перенос влаги и энергии в стратосферу. Конвекция в океане, ее особенности. Проникающая конвекция. Турбулентность. Модели возникновения и развития турбулентного движения. Уравнения Рейнольдса. Механизмы генерации турбулентности в атмосфере и гидросфере. Статистические и полуэмпирические методы описания турбулентности. Однородная и изотропная турбулентность. Мелкомасштабная структура турбулентных полей скорости и пассивной примеси. Странные аттракторы. Когерентные структуры и турбулентность. Тонкая термохалинная структура вод Мирового океана и турбулентность. Фактические данные о турбулентности атмосферы и океана. Турбулентность ясного неба.

Основные типы волн в гидросфере. Математическое описание волновых процессов. Дисперсия. Нелинейные эффекты. Приливы. Сейши. Цунами. Внутренние волны. Волны Пуанкаре и Кельвина. Топографические волны. Волны экваториальной зоны. Береговые захваченные волны. Ветровые волны. Спектральное описание поверхностных волн. Генерация и затухание ветровых волн. Длинные волны. Распространение волн в жидкости переменной глубины.

Акустические явления в океане. Формирование звуковых полей в океане. Объемное рассеяние звука. Рассеяние звука морской поверхностью. Шумы океана. Звуковой канал. Инфразвук в океане. Акустические методы исследования океана.

Регулярные структуры, возникающие у твердых границ русловых потоков. Стационарные волны на свободной поверхности русловых потоков. Механизмы деформации дна. Транспорт наносов. Образование излучин рек.

## **ТЕРМОДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА**

Атмосфера и океан как единая термодинамическая система. Поступление теплоты от Солнца и переизлучение земной ИК - радиации в космос. Процессы поглощения и рассеяния радиации атмосферными газами и примесями. Оптически активные газы (водяной пар, углекислый газ, кислород, озон и др.). Явление потепления нижней атмосферы. Парниковый эффект. Расслоение атмосферы и океана на термодинамические неравновесные структуры.

Взаимодействие между океаном и атмосферой. Радиационный и тепловой балансы системы атмосфера - океан. Процессы обмена на поверхности океана: испарение, эффективное ИК - излучение, контактный теплоперенос. Режимы теплообмена. Влияние температуры поверхности океана (ТПО), скорости ветра, органических и неорганических

взвесей в поверхностном тонком слое воды, нефтяных пленок и других загрязнений океана на режимы тепломассообмена между океаном и атмосферой.

Влажность воздуха. Конденсация и туманы. Облака. Влияние облачности на тепломассообмен. Круговорот воды на Земле (гидрологический цикл).

Уравнение состояния атмосферных газов. Первое начало термодинамики и частные процессы в атмосфере: изотермический (барометрическая формула), изостерический, адиабатический, стандартная атмосфера. Влажно-адиабатический процесс. Термодинамическая устойчивость.

Взаимодействие атмосферы и океана как основа формирования термического режима гидросферы Земли. Представления об уравнении состояния морской воды. Суточный ход температуры деятельного слоя океана. Годовой ход температуры воды в незамерзающем море. Влияние физических характеристик океана и атмосферы на процессы их теплового и динамического взаимодействия, физические корни климата и погоды.

Второе начало термодинамики. Открытые термодинамические системы. Потоки энергии и вещества. Процессы производства энтропии и ее отвод во внешнюю среду.

Формирование упорядоченных диссипативных структур вдали от равновесия. Обратные связи в неравновесной термодинамике. Самоорганизация диссипативных структур в атмосфере и океане различных пространственно-временных масштабов: инверсия температуры в приповерхностном слое атмосферы, холодная поверхностная пленка океана.

Глобальные структурные образования, такие как циклоны, антициклоны, тайфуны, общая циркуляция атмосферы и океана.

Климат и его изменения. Основные принципы математического моделирования климата. Основные климатические модели.

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ И ОКЕАНЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.**

Распространение электромагнитных и звуковых волн в атмосфере. Показатели преломления атмосферных газов, тропосферы и ионосферы в оптическом и радиодиапазонах. Общие законы переноса и распространения волн в атмосфере. Атмосферная и ионосферная рефракция. Распространение излучения в поглощающей среде. Оптика инфракрасного, видимого и ультрафиолетового диапазонов излучения. Особенности распространения волн радиодиапазона. Взаимодействие излучения с газовыми, аэрозольными составляющими и гидрометеорами. Релеевское рассеяние и рассеяние Ми.

Деполаризация рассеянного излучения, параметры Стокса. Теория дальности видимости, ее зависимость от метеоусловий.

Зоревые и сумеречные явления. Миражи, мерцания, венцы, gloria, зеленый луч. Радуга, ее описание и теория. Обратные задачи оптики атмосферы. Тепловое излучение атмосферы и земной поверхности в оптическом и радиодиапазоне. Радиоактивный теплообмен в атмосфере. Парниковый эффект. Зондирование атмосферы из Космоса в оптическом и радиодиапазоне. Радиолокация облаков и осадков.

Электрические явления в атмосфере. Проводимость воздуха. Ионобразование в атмосфере земли. Электрические заряды в облаках. Молнии и механизм их разряда. Изменение электрического поля при грозовых разрядах. Атмосферное электричество и метеорологические процессы.

Распространение электромагнитных волн в океане. Оптические характеристики морской воды, поглощение и рассеяние света морской водой. Распространение узкого светового пучка. Световое поле в океане. Цвет моря. Методы и аппаратура оптических исследований.

## **ФИЗИКА СРЕДНЕЙ И ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ**

Структура нейтральной атмосферы и ионосферы. Зависимость температуры и плотности верхней атмосферы от высоты. Базы данных о средней атмосфере и реанализы.

Особенности состава и температурной стратификации средней атмосферы. Химический состав, вода и аэрозоль в средней атмосфере. Перламутровые и серебристые облака. Циркуляция в стратосфере и мезосфере. Стратосферные струйные течения. Квазидвухлетняя циркуляция тропической стратосферы средней атмосферы. Внезапные стратосферные потепления и их проявления в верхней атмосфере. Волновые движения в стратосфере средней и верхней атмосфере. ВГВ и планетарные волны. Источники ВГВ. Условия прохождения ВГВ из тропосферы в высокие слои атмосферы. Критические уровни для распространения ВГВ. Наблюдения ВГВ и планетарных волн в средней и верхней атмосфере. Перламутровые и серебристые облака.

Озоновый слой Земли и его значение для радиационного режима и режима ультрафиолетовой радиации в земной атмосфере. Сезонные, широтные и высотные особенности распределения озона в атмосфере. Озон и общая циркуляция атмосферы. Солнечная активность и озон. Естественные и антропогенные источники нарушения озонового слоя. Озоновые дыры и долговременные тренды озона. Биологические последствия нарушений озонового слоя Земли.

Спектральная структура собственного излучения атмосферы (0.3-15 мкм). Полярные сияния, их происхождение. Определение характеристик

верхней атмосферы оптическими методами: температура, ветер.  
Современные приемники излучения для спектроскопии и интерферометрии.

Вариации и индексы солнечной активности. Солнечный ветер.  
Солнечно-земные связи: магнитосфера, термосфера, средняя атмосфера.

Строение верхней атмосферы. Зависимость температуры и плотности верхней атмосферы от высоты. Уравнение теплового баланса.  
Ионообразование в верхней атмосфере. Фотохимические процессы в ионосфере. Теория образования чепменовского слоя.

Строение и состав ионосферы. Ионообразование в верхней атмосфере. Фотохимические процессы в ионосфере. Процессы переноса, в ионосфере. Электропроводность, столкновения и диффузия. Основные параметры ионосферной плазмы, морфология ионосферы: области O, E, P.D, E, F. Спорадические слои области E, роль ВГВ в их образовании. Экваториальная аномалия, электроджет и плазменные пузыри. Процессы переноса, в ионосфере. Электропроводность, столкновения и диффузия. Динамика верхней атмосферы. Общая циркуляция атмосферы на ионосферных уровнях, глобальная структура термосферного ветра. Вертикальное зондирование ионосферы. Критическая частота и ее связь с электронной концентрацией. Радары некогерентного рассеяния и определяемые с их помощью характеристики плазмы.

Верхняя атмосфера как среда распространения электромагнитных волн. Рефракция волн. Гиротропия ионосферы. Критические частоты ионосферных слоев при нормальном и наклонном зондировании. Многоскачковое распространение. Влияние верхней атмосферы на системы навигации, локации, связи. Методы дистанционного радиозондирования верхней атмосферы (вертикальное зондирование, фарадеевское вращение, некогерентное рассеяние, спутниковое радиозондирование, радиотомография). Ионосфера и геомагнетизм. Главное магнитное поле. Вариации магнитного поля. Магнитосфера Земли. Солнечный ветер. Радиационные пояса. Полярные сияния, их происхождение. Свечение ночного неба. Понятие о механизмах возбуждения основных эмиссий.

## **ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ АТМОСФЕРЫ**

Химическое и динамическое равновесие. Время жизни/пребывания вещества в атмосфере. Относительная важность и время жизни вещества по отношению к отдельным стокам. Константа Генри. Псевдоконстанта Генри на примере преобразований сернистого газа в воде. Кислотность облаков и осадков. Аэрозоли в атмосфере, их источники и стоки. Неорганический углеродный цикл океана. Химия стратосферного озона. Естественная и искусственная радиоактивность атмосферы. Глобальный цикл серы. Влияние соединений серы на климат. Использование данных о радиоактивных и стабильных изотопах в климатических исследованиях.

## АТМОСФЕРНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

Понятие унитарной вариации. Электрическое поле (ЭП) у поверхности Земли в хорошую погоду. Градиент потенциала. Понятие глобальной электрической цепи постоянного тока. Ионы в атмосфере, их классификация. Подвижность ионов. Ионный ток. Процессы ионизации нижней атмосферы. Классический и стационарный турбулентный электродный эффект. Строение ионосферы. Теория простого слоя. Тензор проводимости в ионосфере, проводимость Педерсена и Холла. Электроджет. Общая структура грозовых облаков и создаваемое ими электрическое поле. Механизм электризации грозовых облаков. Коронный разряд. Классификация молниевых разрядов. Общая энергетика молний. Стадии молниевых разряда: стримерная, лидерная; компоненты молний. Географические и сезонные особенности молниевых вспышек, их описание в глобальных моделях земной системы: физические основы, чувствительность к изменению состояния климата. Роль молний в химии атмосферы.

## ТЕОРИЯ КЛИМАТА

Эволюция климата Земли под воздействием радиационного теплообмена между Солнцем, Землей и космосом. Температурная история Земли. Потоки энергии и вещества между неравновесными подсистемами Земли: атмосферой, океаном и литосферой. Круговорот (циклы) воды, углерода, азота и кислорода на Земле. Проблема изменения климата под воздействием человека. Сжигание топлива, ядерная энергетика, испытание ядерного оружия. Парниковый эффект и озоновые дыры. Природные катастрофы и глобальные возмущения: тропические циклоны, вулканы, явление Эль-Ниньо и др. Основы формирования современных представлений о палеоклимате Земли и планет земной группы.

Понятие Земной климатической системы, её компонент. Понятие о моделях Земной системы. Основные процессы, представление которых необходимо в климатических моделях. Формулировка задачи изменения климата как задачи предсказуемости 2-го рода. Определение радиационного возмущающего воздействия (РВВ) и его виды. Определение обратной связи и особенности приложения этого понятия к задачам климатологии. Коэффициенты усиления обратных связей. Основные климатические обратные связи. Чувствительность климата к внешнему воздействию, его представление через характеристики обратных связей. Модель Земли как абсолютно чёрного тела. Энергобалансовая модель климата. Модели общей циркуляции атмосферы. Радиационно-конвективные модели. Схемы конвективного приспособления. Общая структура моделей промежуточной сложности (МПС) и моделей общей циркуляции (МОЦ). Региональные климатические модели, их особенности. Проекты сравнения моделей климата, их основные результаты.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ**

Атмосфера как важнейший элемент среды обитания. Естественные и антропогенные источники загрязнения атмосферы, времена жизни примесей, самоочищение атмосферы. Погодные и климатические последствия загрязнения атмосферы. Радиационные и оптические эффекты загрязнения атмосферы. Методы дистанционного контроля загрязнения атмосферы.

Эволюция климата Земли под воздействием радиационного теплообмена между Солнцем, Землей и космосом. Температурная история Земли. Потоки энергии и вещества между неравновесными подсистемами Земли: атмосферой, океаном и литосферой. Круговорот (циклы) воды, углерода, азота и кислорода на Земле. Проблема изменения климата под воздействием человека. Сжигание топлива, ядерная энергетика, испытание ядерного оружия. Парниковый эффект и озоновые дыры. Природные катастрофы и глобальные возмущения: тропические циклоны, вулканы, явление Эль-Ниньо и др.

Методы активного вмешательства в атмосферные процессы: защита от градобитий и штормовых разрушений, рассеяние облачности, воздействие на осадки, изменение циркуляции воздуха в городах, карьерах и т.п. Экологические последствия активного вмешательства в природные процессы.

Экологические проблемы океана. Экосистемы океана и континентальных вод. Потоки вещества в экосистемах. Энергия в экосистемах океана. Влияние антропогенных факторов на процессы обмена. Основные виды загрязнений океана и континентальных вод. Глобальное потепление и парниковый эффект и реакция океана на них.

Солнечно-земные связи и космическая погода. Космос и экология. Эффекты солнечной активности в геофизике, метеорологии, экологии, окружающей среде, биосфере и т.д. Космические методы контроля. Спутниковый экологический мониторинг. Проблема выживания, международные соглашения о средах обитания (Рио-92, Киотский протокол и др.). Переход к устойчивому развитию.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Общая геофизика. Под ред. В.А. Магницкого, М., МГУ, 1995.
2. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. М.: Изд-во МГУ, 1986.
3. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1988.
4. Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. М., Наука, 1986
5. Голицын Г.С. Введение в динамику планетных атмосфер. Л., Гидрометеиздат, 1973

6. Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы. Л., Гидрометеиздат, 1993.
7. Курганский М.В. Введение в крупномасштабную динамику атмосферы. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1993.
8. Гледзер Е.Б., Должанский Ф.В., Обухов А.М. Системы гидродинамического типа и их применение. М., Наука, 1981.
9. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 1,2. Москва, "Мир", 1986.
10. Флигль Р., Бузингер Дж. Введение в физику атмосферы. М.: Мир, 1965.
11. Госсард Э. и Хук У. Волны в атмосфере. Москва, "Мир", 1978
12. Зигель Р., Хагуэлл Дж. Тепломассообмен излучением, М., Мир, 1975
13. Иванов А. Введение в океанографию, М., Мир, 1978.
14. Лю Ку-Нан Основы радиационных процессов в атмосфере, Гидрометеиздат, 1984
15. МакКартни Э. Оптика атмосферы, М., Мир, 1979
16. Шифрин К.С. Введение в оптику океана, Л., Гидрометеиздат, 1983
17. Харгривс Дж.К., Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Л.: Гидрометеиздат,
18. Ратклифф Дж. Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975.
19. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973.
20. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988.
21. Шулейкин В.В. Физика моря. М., Наука, 1968
22. Океанология: Физика океана. Т.1, т.2. М., Наука, 1978
23. Коненкова Г.Е., Показеев К.В. Динамика морских волн. М., Изд-во МГУ, 1985.
24. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. М., Гидрометеиздат. 1980.
25. Филатов Н.Н. Динамика озер. Л., Гидрометеиздат, 1989.
26. Ле Блон, Л. Майсек. Волны в океане. 4.1,42, М., МИР, 1981.
27. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. М. Гостехиздат, 1955.
28. Монин А.С., Озмидов Р.В. Океанская турбулентность. Л. Гидрометеиздат, 1981
29. Пивоваров А.А. Термика океана. М., Изд-во МГУ, 1979.

30. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М., Наука, 1967
31. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х. Озонный щит Земли и его изменения. СПб, Гидрометеиздат, 1992.
32. Красовский В.И. Штили и штормы в верхней атмосфере. М., Наука, 1971
33. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М., Мир, 1981.
32. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы- индикатор ее структуры и динамики. М., ГЕОС, 2006.
33. Шалимов С.Л. Атмосферные волны в плазме ионосферы. М. ИФЗ РАН. 2018.
34. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1987.
34. Жеребцов Г.А. и др. Волновые процессы в атмосфере Земли и их влияние на ионосферу. М. ГЕОС. 2020.
35. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1970.
36. Дикий Л.А. Гидродинамическая устойчивость и динамика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1976..
37. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. М. Физматгиз. Т.1. 1965.Т.2 1967.
38. Свирежев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. М.: Наука,1978.
39. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. М., Наука, 1986
40. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. М., Наука, 1984\_\_
41. Бримблкомб, П. Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988.
42. Горбунов М.Е. Физические и математические принципы спутникового радиозатменного зондирования атмосферы Земли. – М.: ГЕОС, 2019. – 300 с. – ISBN 978-5-89118-780-1.  
[https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_2088668](https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_2088668)