

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**Отделение наук о Земле**  
**Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова**

УТВЕРЖДЕНО  
Учёным советом ИФА им. А.М. Обухова РАН  
протокол № 5 от 1 ноября 2012 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**  
**Кандидатского экзамена по специальности**  
**25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы**  
**(программа содержит 4 стр. основного текста и список литературы на 1 стр.)**

**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.

**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-Вяйсяля. 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 теплообмена между океаном и атмосферой.

Влажность воздуха. Конденсация и туманы. Облака. Влияние облачности на теплообмен. 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 при водном 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. Деполяризация 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. Ионообразование 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**

Особенности состава и температурной стратификации средней атмосферы. Химический состав, вода и аэрозоль в средней атмосфере. Циркуляция в стратосфере и мезосфере. Квазидвухлетняя циркуляция тропической стратосферы. Волновые движения в стратосфере. ВГВ. 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.

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

Строение и состав ионосферы. Основные параметры ионосферной плазмы, морфология ионосферы: области O, E, P. Процессы переноса, в ионосфере. Электропроводность, столкновения и диффузия. Динамика верхней атмосферы. Общая циркуляция атмосферы на ионосферных уровнях, глобальная структура термосферного ветра.

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.

## **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. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 1,2. Москва, "Мир", 1986.
4. Флигль Р., Бузингер Дж. Введение в физику атмосферы. М.: Мир, 1965.
5. Госсард Э.и Хук У. Волны в атмосфере. Москва, "Мир", 1.978
6. Курганский М.В. Введение в крупномасштабную динамику атмосферы. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1993.
7. Зигель Р., Хагуэлл Дж. Тепломассообмен излучением, М., Мир, 1975
8. Иванов А. Введение в океанографию, М., Мир, 1978.
9. Лю Ку-Нан Основы радиационных процессов в атмосфере, Гидрометеиздат, 1984
10. МакКартти Э. Оптика атмосферы, М., Мир, 1979
11. Шифрин К.С. Введение в оптику океана, Л., Гидрометеиздат, 1983
12. Харгривс Дж.К., Верхняя атмосфера и солнечно-земные связи. Л.: Гидрометеиздат,
13. Ратклифф Дж.Введение в физику ионосферы и магнитосферы. М.: Мир, 1975.
14. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М.: Мир, 1973.
15. Брюнелли Б.Е., Намгаладзе А.А. Физика ионосферы. М.: Наука, 1988.
16. Шулейкин В.В. Физика моря. М., Наука, 1968
17. Океанология: Физика океана. Т.1, т.2. М., Наука, 1978
18. Коненкова Г.Е.,Показеев К.В. Динамика морских волн.М.,Изд-во МГУ, 1985.
19. Филлипс О.М. Динамика верхнего слоя океана. М., Гидрометеиздат. 1980.
20. Филатов Н.Н. Динамика озер. Л., Гидрометеиздат, 1989.
21. Ле Блон, Л.Майсек. Волны в океане. 4.1,42, М., МИР, 1981.
22. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. М. Гостехиздат, 1955.
23. Монин А.С.,Озмидов Р.В.Океанская турбулентность.Л.Гидрометеиздат, 1981
24. Пивоваров А.А. Термика океана. М., Изд-во МГУ, 1979.
25. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М., Наука, 1967
26. Каллистратова М.А., Кон А.И. Радиоакустическое зондирование атмосферы. М., Наука, 1986
27. Александров Э.Л., Израэль Ю.А., Кароль И.Л., Хргиан А.Х. Озонный щит Земли и его изменения. Спб, Гидрометеиздат, 1992.
28. Красовский В.И. Штили и штормы в верхней атмосфере. М., Наука, 1971
29. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М., Мир, 1981.
30. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1987.
31. Лоренц Э.Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1970.
32. Голицын Г.С. Введение в динамику планетных атмосфер. Л., Гидрометеиздат, 1973
33. Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы. Л., Гидрометеиздат, 1993.
34. Гледзер Е.Б., Должанский Ф.В., Обухов А.М. Системы гидродинамического типа и их применение. М., Наука, 1981.
35. Дикий Л.А. Гидродинамическая устойчивость и динамика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1976..
36. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1988.
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