

ПРОГРАММА

Дополнительной части кандидатского экзамена
по специальности 25.00.29 «физика атмосферы и гидросферы».

Исследования состав атмосферы Земли.

1. Химический состав атмосферы.

Единицы измерения содержания газовых примесей в атмосфере. Вертикальные распределения составляющих. Милли- микро- и наносоставляющие. Фоновые и предельно допустимые концентрации ключевых примесей.

Озон в атмосфере. Его распределение и временная изменчивость. Связь с солнечной активностью и крупномасштабной атмосферной циркуляцией. Стратосферно-тропосферный перенос. Полярные озоновые аномалии, механизм их формирования. Тренды содержания парниковых газов. Предшественники озона. Генерация озона в загрязненном воздухе. Сухое осаждение, влажное осаждение.

2. Оптические свойства атмосферных газов и аэрозоля.

Вектор-параметр Стокса. Интенсивность и поляризация излучения. Матрица рассеяния, Индикатриса рассеяния. Объемные коэффициенты рассеяния, поглощения и ослабления. Оптическая прозрачность. Закон Бугера.

Рылеевское рассеяние. Поляризация рассеянного излучения.

Молекулярное поглощение. Происхождение спектров поглощения атмосферных газов. Общая характеристика спектров поглощения атмосферных газов в оптическом диапазоне.

Аэрозольное рассеяние. Теория Ми. Микрофизические характеристики аэрозоля.

3. Методы измерения МГС в атмосфере.

Контактные методы. Газоанализаторы. Газовая хроматография. Метод Бугера определения содержания примесей в атмосфере. Многоволновый метод. Озонные спектрофотометры Добсона и Брюера. Метод обращения.

Спутниковые методы измерения озона. Методы обратного рассеяния, излучения, теплового излучения и прозрачности. Надирная и касательная геометрии измерений.

Методы восстановления содержания МГС по косвенным измерениям. Байесовское и минимальное оценивание. Критерии оптимального восстановления. Погрешность восстановления. Постановка задачи восстановления в методах редукции измерений, понятие модели измерения. Постановка задачи восстановления в методах регуляризации.

4. Основы фотохимии озона и других малых составляющих атмосферы.

Фотодиссоциация. Каталитические циклы. Гетерогенные реакции. Скорость реакции, время релаксации.

Кислородный цикл Чепмена. Водородный цикл. Азотный цикл. Роль галогеноводородов в фотохимии озона.

5. Атмосферный аэрозоль

Микрофизические характеристики аэрозоля. Функция распределения частиц по размерам. Основные фракции аэрозоля. Параметры микроструктуры аэрозоля. Пространственное распределение и временная изменчивость атмосферного аэрозоля. Кинетика атмосферного аэрозоля. Процессы внутриатмосферной трансформации аэрозоля.

Оптика дисперсных сред.

Оптические характеристики мутных сред. Коэффициенты рассеяния и поглощения. Индикатриса Рассеяния. Поляризованное излучение. Параметры Стокса. Матрица рассеяния света. Методы измерения компонент матрицы рассеяния света.

Теория рассеяния света на отдельной частице

Теория рассеяния электромагнитных волн на однородной сферической частице. Общее решение волнового уравнения. Ряды Ми. Алгоритмы вычисления угловых и радиальных функций. Факторы эффективности рассеяния и поглощения. Матрица рассеяния света для однородной сферической частицы. Рассеяние света малыми частицами. Релеевское рассеяние.

Дифракция электромагнитных волн на больших частицах. Малоугловое приближение. Орел и венцы. Приближение геометрической оптики. Радуги.

Рассеяние света системой частиц.

Обратные задачи светорассеяния.

Оптические характеристики полидисперсных сред. Влияние микрофизических параметров на оптические характеристики аэрозоля. Современные методы исследования оптических и микрофизических характеристик аэрозоля. Обратные задачи светорассеяния.

6. Основы динамики малых примесей в атмосфере.

Первое начало термодинамики. Уравнение состояния. Удельная теплота и внутренняя энергия. Адиабатический процесс.

Уравнение неразрывности. Уравнение движения. Сила Кориолиса.

Скорость звука. Потенциальная температура. Частота Брента-Вяйсяля. Гравитационные волны. Линейная задача для течения над препятствиями. Однослойная модель. Двухслойная модель.

Физика верхней атмосферы

1. Номенклатура областей верхней атмосферы.

Распределение плотности и температуры с высотой и их вариации.

Понятие о методах определения плотности и температуры верхней атмосферы.

2. Основы фотохимии.

Процессы диссоциации и рекомбинации молекул и атомов в верхних слоях атмосферы.

Диффузия и скорость установления диффузионного разделения.

Понятие о химическом равновесии.

Распределение с высотой различных компонентов атмосферы.

3. Ионосфера.

Структура ионосферы, ее зависимость от времени суток.

Уравнение баланса ионизации.

Эффективный коэффициент рекомбинации. Понятие о порядке времени рекомбинации в различных областях ионосферы.

Теория простого слоя Чепмена.

Критическая частота и ее связь с электронной концентрацией. Понятие о D, E и F-областях ионосферы.

4. Тепловой баланс верхней атмосферы.

Источники энергии верхней атмосферы и механизмы ее разогревания. Поток солнечного коротковолнового излучения и его вариации с солнечной активностью.

Вариации плотности атмосферы, связанные с магнитными возмущениями.

5. Климат средней и верхней атмосферы.

Многолетние изменения характеристик атмосферы: температура, плотность, состав.

Связь параметров атмосферы с солнечной активностью.

6. Излучение верхней атмосферы - ночное, сумеречное, дневное.

Спектр излучения, основные эмиссии. Высоты их возникновения и механизмы возбуждения.

7. Вращательно-колебательный спектр гидроксильного излучения ночной атмосферы.

Вращательная и колебательная температуры. Методы их измерения и интерпретации.

8. Сумеречная флуоресценция верхней атмосферы.

Геометрия явления. Основные эмиссии сумеречного излучения. Методы определения сумеречных эмиссий. Основы теории возникновения различных сумеречных эмиссий.

9. Серебристые облака.

Высота, морфология, условия возникновения. Пространственно-временное распределение.

10. Полярные сияния.

Высота, основные типичные формы свечения, географическое распределение сияний, обусловленных электронами. Протонные полярные сияния, их географическое распределение, проблемы начальной энергии протонов.

Особенности спектра полярных сияний. Энергии возбуждающих потоков электронов.

Понятия о структуре магнитосферы.

Солнечный ветер.

11. Методы исследований излучения верхней атмосферы.

Спектрограф, спектрометр, электрофотометр, интерферометры. Приемники излучения: астрофотоматериалы, фотоумножитель, электронно-оптический преобразователь, ГОС матрицы.

Методы регистрации излучения. Основы спектрофотометрии и калибровки.

Физические основы теории климата

1. Общая структура земной климатической системы.

Вертикальная структура атмосферы и океана.

Характерные изменения климата в прошлом.

Сравнительная климатология планет Солнечной системы.

2. Уравнения гидротермодинамики и законы сохранения.

Основы термодинамики атмосферы и океана. Уравнение состояния. Уравнение для энергии. Уравнение статики.

Уравнения динамики атмосферы и океана. Уравнения Эйлера. Уравнение неразрывности.

Характеристики циркуляции атмосферы и океана. Циркуляция и завихренность. Циркуляционная теорема Бьеркнеса. Уравнение вихря. Потенциальная завихренность.

Теорема об эволюции потенциального вихря. Адиабатические инварианты. Геострофическое приближение. Основные формы и превращения энергии. Доступная потенциальная энергия. Общая схема преобразования энергии в атмосфере.

Момент количества движения.

Энтропия.

3. Волновые колебания в атмосфере и океане.

Волны Россби.

Волны Кельвина.

Гравитационные волны.

4. Характеристики устойчивости атмосферы и океана.

Статическая устойчивость.

Баротропная неустойчивость.

Бароклинная неустойчивость.

5. Радиационные процессы в атмосфере.

Поглощение и рассеяние солнечной радиации.

Перенос тепловой радиации.

Радиационная энергетика климатической системы.

Простые радиационные модели.

Облачный радиационный форсинг.

Аэрозольный радиационный форсинг.

Радиационные параметризации для климатических моделей.

6. Климатические модели.

- Энергобалансовые.
- Радиационно-конвективные.
- Модели промежуточной сложности.
- Модели общей циркуляции.
- Региональные модели.

7. Характерные климатические структуры и процессы.

Погранслои, фронты, ячейки общей циркуляции, струйные течения, циркумполярные вихри, атмосферные центры действия, блокирующие антициклоны, циклоны (тропические, внетропические, полярные).

Муссоны.

Квазидвухлетняя цикличность, Эль-Ниньо/Южное колебание, Северо-Атлантическое и Арктическое колебания.

8. Естественные и антропогенные изменения климата.

- Теория Миланковича.
- Парниковый эффект.
- Углеродный цикл.
- Климатические обратные связи.
- Чувствительность и устойчивость климатической системы.

Динамика крупномасштабных атмосферных процессов и геофизическая гидродинамика

1. Общие уравнения гидротермодинамики в применении к атмосферным движениям

Термодинамика атмосферы

Уравнения гидродинамики в применении к атмосфере

Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Описание движения в представлении Эйлера и Лагранжа. Вариационные принципы гидродинамики, симметрии и законы сохранения.

Вихревые движения в атмосфере. Теорема Кельвина. Завихренность и потенциальная завихренность. Теорема о потенциальном вихре. Спиральность, сохранение спиральности.

Методы теории подобия для планетных атмосфер.

2. Упрощение уравнений гидротермодинамики применительно к задачам динамической метеорологии.

Состояние равновесия атмосферы. Модели атмосферы.

Уравнения статики и примитивные уравнения. Изобарическая и изоэнтропическая системы координат.

Уравнения мелкой воды: инерционно-гравитационные волны, законы сохранения массы, энергии, потенциального вихря и энстрофии задача адаптации гидродинамических полей.

Адиабатическое приближение. Адиабатические инварианты.

Геострофическое и квазигеострофическое приближение.

Приближение β -плоскости. Уравнение Чарни-Обухова

Характерные масштабы движений в атмосфере и определяющие параметры.

3. Энергетика атмосферы

Общие энергетические уравнения. Основные формы энергии и их превращение.

Понятие доступной потенциальной энергии.

Общая схема преобразования энергии в атмосфере.

Сохранение момента количества движения в атмосфере.

Атмосферная циркуляция на планете Земля: ячейки Хэдли, Фэрреля, полярная система ветров; общее распределение температуры и давления в тропосфере; стратосфера.

Особенности циркуляции атмосфер планет солнечной системы.

4. Теория колебаний в атмосфере

Уравнения малых колебаний атмосферы на вращающейся сферической земле.

Горизонтальная структура колебаний. Уравнение Лапласа в теории приливов.

Вертикальная структура колебаний. Акустические, гравитационные и инерционно-гравитационные волны. Особенности вертикальной структуры в случае неизотермической стратификации.

Волны Россби на сферической Земле и β -плоскости.

Виды энергии колебаний и классификация волн. Передача энергии волновыми движениями.

5. Гидродинамическая устойчивость движений.

Определение и методы исследования устойчивости. Интегральные теоремы.

Спектральные методы.

Уравнение Рэлея. Необходимое условие неустойчивости.

Уравнение Орра-Зоммерфельда.

Теорема Майлса-Ховарда, критерий Ричардсона.

Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.

Исследование нелинейной устойчивости. Закон сохранения энергии и баротропная и бароклинная неустойчивость. Задача Иди.

Устойчивость течений в экмановских слоях атмосферы и океана.

6. Конвекция в атмосфере.

Условие отсутствия конвекции в идеальной (невязкой, нетеплопроводной) атмосфере.

Конвективная устойчивость влажной насыщенной атмосферы.

Конвективная неустойчивость Рэлея-Бенара.

Свободная конвекция. Параметры подобия.

7. Малопараметрические модели атмосферы

Конечномерные аппроксимации уравнений. Квадратично-нелинейные гидродинамические системы. Интегралы движения.

Понятие о малопараметрической модели Лоренца.

Системы гидродинамического типа и их применение к описанию движений атмосферы.

Малопараметрические модели баротропного и бароклинного движения.

Моделирование характерных особенностей атмосферной циркуляции. Типы циркуляционных режимов, их устойчивость и взаимопревращение.

8. Применение гидродинамики к задачам численного прогноза погоды и общей циркуляции атмосферы

Методы аппроксимации уравнений гидродинамики.

Подсеточные масштабы движений и методы их параметризации

Вихреразрешающие модели.

Мезомасштабные атмосферные модели (RAMS, MM5, WRF).

Предсказуемость движений различных масштабов.

Понятие о численных моделях климата.

Распространение волн в неоднородных средах и атмосферная акустика.

1. Математическое описание случайных полей

Случайные функции. Стационарные случайные функции. Случайные функции со стационарными приращениями.

Корреляционная и структурная функции.

Спектральное разложение и теорема Хинчина.

Примеры стационарных случайных процессов: («белый шум», марковский процесс).

Взаимные корреляционные функции и взаимные спектры.

Однородные и изотропные случайные поля. Локально однородные и изотропные случайные поля. Пространственно-временные случайные поля. Локально однородные случайные поля с плавно меняющимися средними характеристиками. Векторные случайные поля.

2. Атмосферная турбулентность

Возникновение и развитие турбулентности.
Общие понятия о турбулентности. Уравнения Рейнольдса.
Законы Колмогорова и Обухова.
Полуэмпирическое описание турбулентных напряжений.
Пограничный слой атмосферы. Теория Монины-Обухова.
Квазидвумерная турбулентность.
Связь временной и пространственной структур турбулентности (замороженная турбулентность).
Экспериментальные данные и методы исследования турбулентности атмосферы.

3. Распространение электромагнитных и акустических волн в общем виде и в случайно-неоднородных средах

Уравнение Максвелла. Волновое уравнение. Граничные условия. Принцип Гюйгенса. Принцип взаимности. Интегральная форма волнового уравнения.

Рассеяние на пространственной периодической структуре вариаций диэлектрической проницаемости. Условие Брегга.

Радиоакустическое зондирование атмосферы.

Приближение геометрической оптики. Рефракция в сферически-слоистой атмосфере.

Решение обратной задачи рефракции.

Радиопросвечивание атмосферы с ИС

Уравнения распространения электромагнитных волн. Рассеяние электромагнитных волн неоднородностями диэлектрической проницаемости.

Приближение. Приближение однократного рассеяния. Статистические характеристики рассеянного поля: средняя интенсивность, частотный спектр рассеянного поля, корреляционные функции рассеянного поля, законы распределения вероятностей рассеянного поля.

Уравнение геометрической оптики. Их решение в первом приближении методом возмущений. Флуктуация фазы, углы прихода и амплитуды плоской волны. Границы применимости первого приближения геометрической оптики.

Метод плавных возмущений. Вывод основных уравнений. Флуктуации амплитуды и фазы плоской волны. Границы применимости метода плавных возмущений.

Параболическое уравнение. Распространение света в приближении диффузионного случайного процесса. Уравнение Эйнштейна–Фоккера–Планка в теории распространения электромагнитных волн. Диффузия лучей. Вывод уравнения для среднего значения поля и функции когерентности второго порядка. Функция когерентности второго порядка для плоской волны и для пучка. Функция когерентности четвертого порядка и флуктуации интенсивности плоской монохроматической волны. Приложения теории распространения волн в турбулентной среде. Частотные спектры флуктуации амплитуды и фазы. Мерцание и дрожание изображений, влияние усредняющего действия апертуры приемного устройства и угловых размеров источника.

Полная система акустических уравнений в поле силы тяжести и ее линеаризация.

Параболическое уравнение.

Плотность энергии и потока мощности в звуковой волне. Скорость звука в атмосфере.

Различные механизмы затухания акустических волн.

Рефракция звука в слоистой атмосфере. Распространение звука в атмосферных волноводах. Нормальные волны.

Внутренние гравитационные волны. Дисперсионные соотношения. Естественные источники инфразвука и внутренних волн в атмосфере.

Нелинейные эффекты при распространении акустических волн. Изменения формы импульсов.

Флуктуации амплитуды, фазы и угла прихода звуковых волн в турбулентной среде (приближение геометрической акустики и волновая теория).

Рассеяние звука турбулентными неоднородностями скорости ветра температуры и влажности.

Рассеяние электромагнитных волн на пространственной периодической структуре, создаваемой звуковой волной.

Шумовое загрязнение атмосферы.

4. Исследования атмосферы акустическими методами

Локальные акустические методы измерения средних и флуктуационных параметров.

Акустическая и радиоакустическая локация атмосферы.

Акустическая томография.

Решение обратных задач рефракции.

5. Экспериментальные методы атмосферной акустики.

Источники и приемники излучения. Формирование звуковых пучков.

Определение параметров инфразвуковых и внутренних гравитационных волн.

6. Статистические методы обработки экспериментальных данных и численное моделирование

Спектральный анализ. Вейвлет анализ. Статистически ортогональные разложения эмпирических функций.

Понятие о численном моделировании атмосферного пограничного слоя с осреднением по ансамблю и осреднением по объему (LES).

7. Самовоздействие лазерного излучения в атмосфере

Механизмы изменения показателя преломления воздуха при воздействии излучения (электрострикция, эффект Керра, ионизация, тепловой механизм).

Явления самофокусировки и самодефокусировки пучков.

Взаимодействие атмосферы и океана»

1. Гидродинамические свойства морской поверхности

Основные отличия морской поверхности от твердой стенки; гидродинамические свойства поверхности моря, ламинарный (вязкий) подслой.

Параметр шероховатости, коэффициент сопротивления морской поверхности; Перенос количества движения в приводном слое воздуха.

Общая характеристика теплообмена между морем и атмосферой.

Методы расчета и измерений турбулентных потоков тепла, влаги и импульса. Балк-формулы.

Теория процессов контактного теплообмена и испарения (числа Стэнтон, Дальтона, Боуэна).

Зависимость потока количества движения от ветра и волн. Влияние стратификации. Температурный режим поверхности моря. Холодная пленка.

2. Действие ветра на море

Классическая теория ветровых волн. Факторы волнообразования и их роль в развитии волнения. Уравнение баланса волновой энергии. Гипотезы подобия для процессов ветрового волнения; универсальные функции, возраст и степень развития волнения.

Понятие о режиме волнения и волновом климате. Генерация и рост волн.

Сопротивление, испарение и теплопередача на разных стадиях развития волнения.

Статистическое описание ветровых волн.

Энергетические спектры ветрового волнения, фазовая скорость. Формула Чарнока, динамика развития поверхностных волн, характеристика высокочастотного участка спектра ветрового волнения.

Модели ветрового волнения.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Боровков А.А. Математическая статистика. М., Наука, 1994, 472 с.
2. Госсард Э.Э., Хук У.Х. Волны в атмосфере. Мир, 1978.
3. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1986, 256 с.
4. Зуев В.Е., Макушкин Ю.С., Пономарев Ю.Н. Спектроскопия атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1987, 247 с, Гл. 1.
5. Кароль И.Л., Тимофеев Ю.М. Газовые примеси в атмосфере. Л., Гидрометеиздат, 1983, 191 с.
6. Перов С.П., Хргиан А.Х. Современные проблемы атмосферного озона. Л. Гидрометеиздат, 1980, 288 с.
7. Тимофеев Ю.М. Спутниковые методы исследования газового состава атмосферы (Обзор). Изв. АН СССР, ФАО, 1989, т.25, № 5, с. 451-472.
8. Криволицкий А.А., Репнев А.И.. Воздействие космических факторов на озоносферу Земли. М: ГЕОС. 2009. 383 с.
9. Алоян А.Е.. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: Наука. 2008. 415 с.
10. Борен К., Хамфен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М: Мир, 1986.
11. Розенберг Г.В. Сумерки. М.: Физматгиз, 1963.
12. Герцберг Г. Спектры и строение двухатомных молекул. Изд-во Иностран.Лит., М., 1949.
13. Митра С.К. Верхняя атмосфера. Изд-во Иностран. Лит. М., 1955.
14. Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. Изд-во Иностран. Лит. М., 1963.
15. Николе М. Аэрономия. М., Мир. 1964.
16. Бронштэн В.А., Гришин Н.И. Серебристые облака. М., Наука, 1970.
17. Красовский В.И. Штили и штормы в верхней атмосферы. М., Наука. 1971.
18. Монин А.С. Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеиздат. 1982. 246 с.
19. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика. - М.: Мир, 1984.
20. Ку-Нан Лиоу Основы радиационных процессов в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат. 1984. 376с.
21. Будыко М.И., Ронов А.Б., Яншин А.Л. История атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. 1985. 208 с.
22. Радиационно-фотохимические модели атмосферы. Под ред. И.Л. Кароля. Л.: Гидрометеиздат. 1986. 192с.
23. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Глобальные климатические катастрофы. М.: Гидрометеиздат. 1986. 159 с.
24. Кароль И.Л. Физики верхней атмосферы Земли (ред.К.О.Хайнс). Л., Гидрометеиздат, 1971.
25. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. М., Мир, 1973.
26. Курс астрофизики и звездной астрономии (ред. А.А.Михайлов), Т.1. Изд. 2., М., Наука, 1974.
27. Омхольт А. Полярные сияния. М., Мир, 1974.
28. Уиттен Р., Поппов И. Основы аэрономии. Л., Гидрометеиздат, 1977.
29. Роч Ф, Гордон Дж. Свечение ночного неба. VI., Мир, 1977.
30. Иванов-Холодный Г.С., Михайлов А.В. Прогнозирование состояния ионосферы. Л., Гидрометеиздат, 1980.

30. Кондратьев В.Н., Никитин Е.Е. Химические процессы в газах. М., Наука, 1981.
31. Герман Дж., Голдберг Р.А. Солнце, погода и климат. Л., Гидрометеиздат, 1981.
32. Чемберлен Дж. Теория планетных атмосфер. М., Мир, 1981.
33. Фишкова Л.М. Ночное излучение среднеширотной верхней атмосферы Земли. Тбилиси, Мецниереба, 1983.
34. Брасье Г., Соломон С. Аэрономия средней атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1987.
33. Шефов Н.Н., Семенов А.И., Хомич В.Ю. Излучение верхней атмосферы - индикатор ее структурных и динамических характеристик. М.: ГЕОС. 2006.
34. Монин А.С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969.
35. Дикий Л. А. Теория колебаний земной атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1969.
36. Лоренц Э. Н. Природа и теория общей циркуляции атмосферы. Л.: Гидрометеиздат. 1970.
37. Голицын Г.С. Введение в динамику планетных атмосфер. Л.: Гидрометеиздат. 1973. 104 с.
38. Пальмен Э., Ньютон Ч. Циркуляционные системы атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат. 1973.
39. Дикий Л. А. Гидродинамическая устойчивость и динамика атмосферы. - Л.: Гидрометеиздат, 1976.
40. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеиздат. 1979. 407 с.
41. Монин Введение в динамику климата Земли. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 215 с.
42. Peixoto J.P., Oort A.H. Physics of climate. AIP, New York. 1992. 520 pp.
43. Курганский М.В. Введение в крупномасштабную динамику атмосферы (адиабатические инварианты и их применение). СПб.: Гидрометеиздат. 1993. 168 с.
44. Мохов И.И. Диагностика структуры климатической системы. СПб.: Гидрометеиздат. 1993. 271 с.
45. Кислов А.В. Климат в прошлом, настоящем и будущем. М.: МАИК "Наука/Интерпериодика". 2001. 351с.
46. В.И. Арнольд Математические методы классической механики. М., Наука, 1974.
47. П.Н.Белов, Е.П.Борисенков, Б.Д.Панин. Численные методы прогноза погоды. Гидрометеиздат. 1989.
48. Дж.Бэтчелор Введение в динамику жидкости. - М.: Мир, 1973.
49. Е.Б., Гледзер, Ф.В. Должанский, А.М. Обухов Системы гидродинамического типа и их применение. М., Наука, 1981.
50. Г.С. Голицын. Исследование конвекции с геофизическими приложениями и аналогиями Л.: Гидрометеиздат, 1980.
51. Голицын Динамика природных процессов (М.: Физматлит, 2004.
52. Гусев Свободная конвекция в атмосфере и океане. М.: Изд-во МГУ, 1978.
53. Л.Н. Гутман Введение в теорию мезометеорологических процессов. Л.: Гидрометеиздат, 1969
54. Ф.В. Должанский. Основы геофизической гидродинамики. М. 2011.
55. Динамика погоды. Под ред. С. Манабе. Л., Гидрометеиздат, 1988.
56. Динамика климата. Под ред. С. Манабе. Л., Гидрометеиздат, 1988
57. В.П. Дымников. Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов. М. 2007
58. А.Ф. Курбацкий. Введение в моделирование турбулентного переноса импульса и скаляра. Новосибирск 2007.
59. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Гидродинамика - Издание 6-е.-. М., 2006.-. 736 с.- («Теоретическая физика», том VI).
60. Ф. Мезингер, А. Аракава. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. Гидрометеиздат. 1979.
61. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. - М.: Мир, 1964.
62. А. С. Монин Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л.

- Гидрометеиздат 1988
63. А.С. Монин, А.М. Яглом. Статистическая гидромеханика. С-Петербург Гидрометеиздат т.1. 1992. Т.2 1996
 64. К. Моханакумар. Взаимодействие стратосферы и тропосферы. ФизМатЛит. 2011.
 65. Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1988..
 66. Серрин Математические основы классической жидкости. - М.: Гос. изд-во иностр. литературы. 1963.
 67. Дж.Тернер Эффекты плавучести в жидкости. М.Мир 1977
 68. Т.Е.Фабер Гидроаэродинамика. М.2001
 69. П.Г.Фрик. Турбулентность: подходы и модели. Ижевск 2010.
 70. С.П.Хромов, М.А.Петросянец. Метеорология и климатология. 1994.
 71. S. Chandrasekhar (1981) [1961]. Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability. New York: Dover.
 72. V. Cushman-Roisin. Introduction to Geophysical Fluid Dynamics --- Physical and Numerical Aspects. 2008.
 73. M.Lesieur. Turbulence in Fluids. 1997.
 74. R.Salmon Lectures on Geophysical Fluid Dynamics. - NY, Oxford: Oxford University Press, 1988.
 75. G. K.Vallis. Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Fundamentals and Large-Scale Circulation. 2005
 76. J.C.Wyngaard Turbulence in the atmosphere. Cambridge. 2010
 77. С.М.Рытов, Ю.А.Кравцов, В.И.Татарский. Введение в статистическую радиофизику. Ч. II, Наука, 1978 г.
 78. В.И.Татарский. Распространение волн в турбулентной атмосфере. Наука, 1967 г.
 79. С.А.Ахманов, А.П.Сухоруков, Р.В.Хохлов. Самофокусировка и дифракция света в нелинейной среде. УФН, т.93, № 1, с.19-70, 1967.
 80. М.А.Каллистратова, А.И.Кон. Радиоакустическое зондирование атмосферы. М., Наука, 1986 г.
 81. Ю.А.Кравцов, Ю.И.Орлов. Геометрическая оптика неоднородных сред. Москва, Наука, 1980.
 82. О.И.Яковлев. Космическая радиофизика. Москва, Научная книга, 1998.
 83. А.С.Гурвич, А.И.Кон, В.Л.Миронов, С.С.Хмелевцов. Лазерное излучение в турбулентной атмосфере. Москва, Наука, 1976.
 95. Зарембо Л.К., Красильников В.А. Введение в нелинейную акустику. М.: Наука, 1966,316 с.
 96. Океанология. Гидрофизика океана. М.: «Наука». 1978. Стр. 208-339.
 97. Доронин Ю.П. Взаимодействие океана и атмосферы. Л.: Гидрометиздат., 1981, 287 с.
 98. Перри А.Х., Уокер Дж.М. Система океан-атмосфера. пер. с англ. Л.: Гидрометеиздат. 1979. 195 с.
 99. Краус Е. Б. Взаимодействие атмосферы и океана Л., Гидрометеиздат, 1976, 296с.
 100. Федоров К. Н., Гинзбург А. И. Приповерхностный слой океана Л., Гидрометеиздат, 1988, 302 с.
 101. Китайгородский С.А. Физика взаимодействия атмосферы и океана. Л.: Гидрометеиздат. 1970, 284 с.
 102. Монин А.С., Красицкий В.П. Явления на поверхности моря. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 376