

Подробный план лекций по курсу «Динамика атмосферы» на 1 семестр.

1. Предмет динамики атмосферы. Система уравнений динамики атмосферы.

Цель курса. Взаимосвязь с другими спецкурсами кафедры. Основная и дополнительная литература. Основные параметры атмосферы. Уравнение неразрывности, уравнения Эйлера и Навье-Стокса, роль вязкости, уравнение баланса энергии, источники и стоки тепла в атмосфере.

2. Законы сохранения массы, импульса, энергии и момента импульса атмосферы.

Вывод системы уравнений динамики атмосферы из законов сохранения. Принимаемые обозначения. Основные отличия и допускаемые упрощения в описании крупномасштабных движений. Сферическая и локальная декартова системы координат. Форма Земли и эллиптические координаты.

3. Влияние вращения на циркуляцию атмосферы. Теорема Кельвина.

Изменение уравнений динамики при переходе во вращающуюся систему координат. Сила Кориолиса и центробежная сила. Понятие геопотенциала. Циркуляция скорости. Условия сохранения циркуляции. Абсолютная и относительная циркуляция скорости. Изменение циркуляции.

4. Уравнение вихря.

Интегральные соотношения и дифференциальные операторы. Понятие вихря и компоненты вихря скорости. Вихревые линии и вихревые трубки. Линии тока и завихренность плоских течений. Спиральность поля скоростей. Вывод уравнения вихря из уравнения Эйлера. Влияние вязкости на вихревую динамику.

5. Потенциальный вихрь Эртеля. Приближение адиабатичности.

Динамические инварианты движения. Переход от дифференциальных к интегральным формулировкам законов сохранения. Понятие потенциального вихря. Семейства динамических инвариантов. Ограниченность адиабатического приближения. Связь потенциальной температуры и энтропии. Стратификация атмосферы. Потенциальная температура влажного воздуха. Виртуальная температура.

6. Геострофический баланс и гидростатическое приближение. Адаптация метеорологических полей.

Упрощение уравнений гидродинамики. Рамки применимости различных приближений. Критерии и безразмерные числа. Линеаризация уравнений динамики. Простейшие приближения, условия их применимости. Число Россби. Использование упрощенных уравнений при моделировании крупномасштабных процессов. Причины выполнения приближенных соотношений. Процесс приспособления (адаптации). Роль волновых процессов.

7. Модель мелкой воды (ММВ). Система уравнений. Малые колебания в ММВ.

Модель «мелкой воды» и ее основные характеристики. Ее применимость для описания атмосферных движений. Рамки применимости условия несжимаемости. Интегральные закономерности движений в атмосфере. Приведенная высота и плотность атмосферы. Система уравнений «мелкой воды». Линейные и нелинейные уравнения в ММВ. Поверхностные волны в неограниченной среде и скорость их распространения. Связь частоты и длины волны. Влияние вращения на дисперсионное соотношение.

8. Волны Пуанкаре и Кельвина. Граничные условия.

Волны при наличии границ. Спектр волн Пуанкаре. Волны Кельвина как экспоненциальные решения. Правила отбора. Разложение произвольных возмущений в спектр. Полнота спектра.

9. Волны Россби. Влияние топографии дна на динамику волн в ММВ

Низкочастотные решения в ММВ. «Топографические» волны. Условия на нижней и верхней границах. Дисперсионное соотношение для топографических волн. Изменение параметра Кориолиса с широтой. Приближение β – плоскости. Уравнение для волн Россби на β – плоскости.

10. Фазовая и групповая скорость волн Россби. Волны Россби на сфере. Элементарная теория блокирования.

Дисперсионное соотношение для волн Россби. Фазовые кривые. Взаимное расположение волн Пуанкаре, Кельвина и Россби на плоскости (ω, k) . Переход к сферическим координатам. Якобиан на сфере. СФ оператора Лапласа на сфере. Частные решения для волн Россби на сфере. Решения на зональном течении.

11. Вихрь и функция тока в модели мелкой воды. Потенциальный вихрь. Квазигеострофическое приближение.

Законы сохранения в ММВ. Вихревые движения в ММВ. Динамические инварианты в ММВ. Нелинейный характер уравнений ММВ. Полная производная в ММВ. Понятие квазигеострофического приближения. Уравнение Чарни-Обухова.

12. Турбулентные напряжения трения и поворот ветра с высотой. Природа Экмановского трения. «Логарифмический» подслои.

Роль трения в уравнениях динамики атмосферы. Возбуждение мелкомасштабных движений. Усреднение уравнений динамики. Квадратичная нелинейность. Напряжения Рейнольдса. Уравнения динамики с учетом напряжений Рейнольдса. Тензорный характер уравнений турбулентной динамики. Проблема замыкания. Мелкомасштабная турбулентность. Простейшие модели турбулентности в приземном слое атмосферы. Уравнения Экмана.

13. Влияние Экмановского трения на конвергенцию воздушных масс. Экмановская подкачка.

Решения Экмановской модели приземного слоя. Соотношение между продольной и поперечной компонентами скорости. Спираль Экмана. Интегрирование уравнений Экмана по высоте. Влияние приземного слоя на крупномасштабное вихревое движение. Описание приземного слоя в крупномасштабных моделях динамики атмосферы.

14. Вынужденное движение океана в баротропном приближении. Экмановское трение. Ветровая циркуляция океана.

Ветровое взаимодействие океана и атмосферы. Понятие турбулентного напряжения трения на поверхности океана. Уравнения вынужденного движения. Волновые решения в модели вынужденного движения. Инерционные колебания.

15. Влияние боковых границ. Штормовые нагоны и их связь с волной Кельвина.

Уравнения вынужденного движения при наличии границы. Локальное решение. Рост уровня моря при штормовом нагоне. Движение нагонов вдоль берега. Штормовые нагоны на Северном Каспии.

План лекций по курсу «Динамика атмосферы» на 2 семестр.

16. Циркуляционные системы атмосферы.

Ячейки Хэдли и Ферреля. Западный перенос и вихри средних широт. Внутритропическая зона конвергенции (ВЗК) и пассаты. Сезонная динамика ВЗК и ячейки Хэдли. Муссоны. Тропические циклоны и их шторм-треки. Циркуляция Уолкера. Межгодовая изменчивость циркуляции. Эль-Ниньо и Северо-атлантическое колебание. «Центры действия» атмосферы.

17. Изобарические координаты и высота геопотенциала. Карты погоды.

Использование гидростатического приближения для введения «логарифмической» координаты. Геопотенциал. Уравнение неразрывности и уравнение движения в изобарических координатах. Соотношение между приземным давлением и высотой изобарического уровня 1000 мбар. Изотахи, геопотенциальные декаметры. Переход к изобарическим высотам – приведенная высота. Уравнения динамики в модифицированных координатах. Вертикальная скорость в изобарических координатах.

18. Энергетика атмосферы. Внутренняя и доступная потенциальная энергия. Изэнтропические координаты.

Уравнение сохранения энергии (повтор). Понятие доступной и лабильной энергии. Соотношение между внутренней и потенциальной энергией в гидростатическом приближении. Кинетическая энергия атмосферных движений. Влияние вращательного и вихревого движения на сохранение кинетической энергии. Динамика энергетики атмосферы.

19. Классификация волновых движений в атмосфере. ВГВ.

Роль ВГВ в динамике крупномасштабных движений. Принципы линейного анализа. Линеаризация уравнений динамики. Использование упрощенных уравнений для получения приближений различных областей спектра ВГВ. Простейшие уравнения ВГВ. Дисперсионное соотношение для ВГВ в несжимаемой и невращающейся жидкости.

20. Фазовые и групповые скорости внутренних волн. Гравитационные волны в сжимаемой и вращающейся жидкости.

Адиабатическое приближение для волн. Связь давления и плотности. Частота Брента-Вяйсяля для сжимаемой атмосферы. Волновое уравнение для вертикальной скорости. Учет вращения атмосферы. Дисперсионные соотношения. Направление волны и групповая скорость. Классификация ВГВ.

21. Волны планетарного масштаба. Нормальные моды планетарных волн. Собственные колебания атмосферы. Приливные колебания.

Крупномасштабный предел дисперсионных соотношений. Учет кривизны Земли. Зависимость частоты Брента-Вяйсяля от высоты. Метод нормальных мод. Уравнение Шредингера. Разложение колебаний по нормальным модам. Полнота системы нормальных мод.

22. Циркуляция в тропиках. Экваториальная β -плоскость. . Уравнение колебаний в приближении ММВ.

Особенности волновых движений в тропиках. Упрощение уравнений для описания внутритропических движений. Линеаризация уравнений для внутритропических движений. Дисперсионное соотношение для экваториальных волн.

23. Экваториальный волновод и экваториальные волны Кельвина. Планетарные волны в окрестности экватора. Циркуляция Уолкера.

Захват волн в окрестности экватора. Приближение ВКБ. Собственные моды колебаний в окрестности экватора. Низкочастотные решения – планетарные волны. Приспособление к геострофическому равновесию.

24. Взрывной циклогенез. Тропические ураганы.

Циклогенез в тропиках. Виртуальная температура и доступная потенциальная энергия. Потенциальная температура влажного воздуха. Условия образования тропических ураганов. Роль завихренности в формировании структуры урагана. Структура зрелого урагана. Глаз и стена глаза. Облачная система урагана. Энергетика урагана.

25. Внетропическая циркуляция. Фронты и цикл бароклинного возмущения (теория фронтогенеза).

Климатический фронт и термический ветер. Причины образования синоптического фронта. Волны на тропопаузе. Простейшая модель фронта – поле деформаций. Уравнение наклона фронта. Холодный и теплый фронт. Фронт окклюзии. Заполнение циклона. Облачные системы фронтов.

26. Простые модели бароклиной неустойчивости. Захваченные волны.

Неустойчивость крупномасштабных движений. Волновой метод анализа неустойчивостей. Уравнения геострофического приближения. Переход к изобарическим координатам. Граничное условие как критерий отбора волновых мод. Волны захваченные у поверхности.

27. Идеализированная модель бароклиной неустойчивости (Модель Иди) и задача Чарни.

Волна в сдвиговом течении. Мода максимального роста. Волны тепла и холода. Влияние изменения параметра Кориолиса на бароклинные возмущения. Абсолютный вихрь в «квазигеострофическом» приближении. Уравнение сохранения абсолютной завихренности.

28. Модели общей циркуляции атмосферы (МОЦА). Главные вопросы.

История развития моделей ОЦА. Уравнения МОЦА. Используемые приближения. Численные схемы решения полной системы уравнений. «Физические процессы». «Подсеточные процессы». Устойчивость численных схем. Подавление ВЧ колебаний. «Численная вязкость». Вихреразрешающие модели.

29.* Гидродинамика и жизнь. Прогноз погоды и климатические модели

Модели синоптических процессов. Проблема предсказания погоды. Экспоненциальное расхождение траекторий. Методы прогноза погоды. Оправдываемость погодных прогнозов. Статистические оценки и статистические методы прогноза.

30.* Вероятностное описание динамических процессов. Синергетика крупномасштабных движений в атмосфере.

* Проведение дополнительных лекций зависит от расписания занятий и праздничных дней.