

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт мониторинга климатических и экологических систем  
Сибирского отделения Российской академии наук**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМКЭС СО РАН, д.ф.-м.н.

Крутиков В.А.

« 6 » 02 2015 г.



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
по специальной дисциплине, соответствующей профилю  
**ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ**  
(направление подготовки: 05.06.01 – Науки о Земле)

г. Томск  
2015 г.

## **1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ПОДГОТОВКИ ПОСТУПАЮЩИХ В АСПИРАНТУРУ, ПРОВЕРЯЕМЫЕ НА ЭКЗАМЕНЕ**

Целью вступительного экзамена в аспирантуру по профилю 25.00.29 – физика атмосферы и гидросфера является выявление у поступающих в аспирантуру уровня базовой системы естественнонаучных, физических и математических знаний. Поступающий должен знать основы геофизики, строения атмосферы, динамики атмосферы и океана, физики Солнца, климатологии, распространения электромагнитных и звуковых волн, физики тропосферы, средней и верхней атмосферы, основы теории вероятности и математической статистики, физические основы экологии.

Поступающий в аспирантуру должен продемонстрировать знания по ключевым разделам научной специальности, полученные при изучении общепрофессиональных и специальных дисциплин специалитета, бакалаврской и магистерской подготовки, иметь способности к научно-исследовательской деятельности и готовность к обучению по образовательным программам аспирантуры и последующей сдаче кандидатского экзамена по дисциплине «Физика атмосферы и гидросферы».

Результаты экзамена позволяют целенаправленно сформировать список дисциплин, необходимых для качественной подготовки аспиранта по профилю 25.00.29 – физика атмосферы и гидросферы.

Программа вступительного экзамена по физике атмосферы и гидросферы разработана в соответствии с требованиями Государственных образовательных стандартов (специалитет), Федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (магистратура).

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ ПО ФИЗИКЕ АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ**

### **2.1. Структурные параметры атмосферы**

Давление, плотность, температура, молекулярный вес, концентрация частиц и их единицы. Уравнения состояния идеального газа и гидростатики. Гомосфера и гетеросфера. Состав гомосферы Земли: основные и второстепенные газы. Особенности распределения водяного пара. Диффузионно-гравитационное разделение газов. Понятие о фотохимическом времени жизни компоненты и времени перемешивания. Озон в атмосфере и теория его вертикального распределения.

Основные определения: интенсивность, плотность, поток излучения, приток лучистой энергии. Уравнение переноса излучения в общем виде. Коэффициенты ослабления и излучения. Функция источника, вероятность выживания кванта, индикаторы рассеяния. Вектор-параметр Стокса. Закон Бугера -Ламберта.

### **2.2. Спектры атмосферных газов**

Контур и ширина линий. Уширение в результате столкновений и допплер-эффекта. Структура вращательных и колебательно-вращательных спектров. Вращательные, колебательно-вращательные и электронно-колебательно-вращательные полосы и континуумы атмосферных газов. Атмосферные окна прозрачности. Функции поглощения атмосферных газов.

## **2.3. Частицы. Аэрозоли**

Рассеяние частицами и молекулами. Оптические свойства частиц (показатели преломления и поглощения) и зависимость их от размера частицы и частоты излучения. Релеевское рассеяние, индикатриса рассеяния, поляризация рассеянного света. Зависимость количества рассеянной от длины волны и объема частицы. Определение факторов эффективности ослабления рассеяния и поглощения. Индикатриса рассеяния для больших частиц. Оптические явления на каплях и ледяных кристаллах (ореол, дифракционные венцы, гало, радуга, гlorия).

Аэрозоль. Распределение частиц по размерам. Источники аэрозоля. Химический состав аэрозолей. Распределение аэрозоля по высоте. Серебристые облака, полярные стратосферные облака. Аэрозольное и молекулярное ослабление света в реальной атмосфере, зависимость коэффициента ослабления от длины волны, закон Ангстрема. Цвет неба. Индикатриса рассеяния реальной атмосферы.

## **2.4. Оптические характеристики поверхностей.**

Альбедо подстилающей поверхности (вода, суша), облаков и Земли как планеты. Освещённость и суточная сумма прихода солнечного излучения на поверхность Земли в случае отсутствия атмосферы. Поляризационные характеристики отражения. Атмосферная рефракция. Уравнение траектории луча. Эффекты астрономической и земной рефракции. Миражи.

Рассеянное солнечное излучение. Однократное и многократное рассеяние. Методы решения уравнения переноса излучения. Освещённость земной поверхности, вклад в нее прямого и рассеянного излучения, зависимость освещённости от альбедо, вытянутости индикатрисы рассеяния, оптической толщины и зенитного угла солнца. Поляризация рассеянного света.

## **2.5. Уравнение переноса собственного теплового излучения**

Полосы поглощения, ответственные за перенос собственного излучения. Интенсивности линий и полосы. Функции пропускания атмосферы. Приближенные методы теории переноса теплового излучения - модели полос поглощения,  $k$  - метод, фактор диффузности, пропускание смеси газов.

## **2.6. Методы и средства зондирования атмосферы**

Дистанционные измерения в тепловой области спектра. Определение температуры подстилающих поверхностей. Методы учета влияния атмосферы при определении температуры подстилающей поверхности. Определение вертикального профиля температуры атмосферы. Дистанционные измерения по рассеянному и отраженному излучению. Определение характеристик газового состава атмосферы со спутников и с помощью наземных методов. Определение аэрозольных характеристик атмосферы. Поляризационный метод определения содержания озона и характеристик аэрозольного состояния атмосферы. Лазерное и радиолокационное зондирование. Уравнение радиолокации и лидарное уравнение. Пространственное разрешение методов. Методы определения температуры, газового и аэрозольного состава атмосферы, поля ветра.

## **2.7. Определение характеристик газового состава атмосферы**

Полосы поглощения атмосферных газов в различных областях спектра. Определение общего содержания озона - метод Добсона и метод Гущина. Определение характеристик газового состава атмосферы по измерениям прозрачности атмосферы в ИК области. Факторы, определяющие точность дистанционного метода.

## 2.8. Базовые уравнения

Уравнение неразрывности. Уравнение движения (формы записи Эйлера и Рейнольдса). Объёмные и поверхностные силы, действующие в атмосфере. Тензор вязких напряжений и сила молекулярной вязкости. Силы инерции. Сила Кориолиса.

Уравнение сохранения энергии и его представление в виде уравнения притока тепла. Сухо и влажно-адиабатические процессы и соответствующие им градиенты температуры. Потенциальная температура. Термодинамический критерий устойчивости атмосферы для элемента среды. Частота Брента-Вяисяля.

Турбулентные пульсации скорости, температуры, плотности и давления в атмосфере. Полуэмпирическая теория Прандтля в турбулентности и пределы ее применимости. Путь смешения, коэффициент турбулентности. Уравнение неразрывности в турбулизованной среде. Уравнение диффузии в турбулизованной среде, турбулентный поток примеси. Тензор турбулентных напряжений.

Спектр турбулентности. Определение максимального и минимального размера турбулентных вихрей на основе критических чисел Рейнольдса и Ричардсона. Классификация турбулентных неоднородностей в несжимаемой и сжимаемой средах. Закон Колмогорова-Обухова и закон пяти третьих Колмогорова.

## 2.9. Движения в атмосфере

Классификация атмосферных движений по методу теории подобия. Условие стационарности движений. Определения планетарного пограничного слоя, поверхностного слоя и свободной атмосферы. Условие выполнения приближения горизонтальной однородности, число Россби. Ветры в свободной атмосфере. Геострофический ветер и его изменение с высотой, понятие термического ветра. Зональная циркуляция и её широтно-сезонно-высотный ход. Циклострофический ветер. Движение воздушных масс в циклонах и антици克лонах.

Вертикальный профиль ветра в пограничном слое, спираль Экмана. Замыкание системы уравнений для пограничного слоя. Теории подобия для пограничного слоя.

Свободная термическая конвекция. Уравнения термической конвекции в приближении Бусинеска. Критическое число Релея. Свободная конвекция в атмосфере, обусловленная горизонтальным градиентом температуры: местные ветра (брizы и горно-долинные ветра), мусонная циркуляция, макромасштабные конвективные ячейки (циркуляция Хэдли).

Глобальные волны в атмосфере, их классификация и способы описания. Особенности глобальной волны на вращающейся планете (инерционный эффект). Собственные колебания атмосферы (волны Россби), их наблюдение. Формула их фазовой скорости волны.

Глобальные волны, генерируемые "внешним" источником. Солнечный и лунный приливы, их наблюдения и источники. Классификация приливных движений (классы, волновые семейства и моды). Линейная теория атмосферного прилива. Уравнение вертикальной структуры и приливное уравнение Лапласа для функций Хафа. Верхнее и нижнее граничные условия. Экваториальные инерционно-гравитационные волны. "Стационарные" планетарные волны.

Бароклинная и баротропная неустойчивость зонального потока как причина циклонообразования на умеренных и высоких широтах. Режим циркуляции Россби и Хэдли. Опыты во вращающихся сосудах.

## **2.10. Термовой режим атмосферы**

Лучистые притоки энергии (поглощение солнечного излучения, перенос собственного излучения атмосферы). Изменение температуры при адвекции тепла и холода и в адиабатическом процессе. Приток тепла за счет фотохимических процессов. Термовой эффект фазовых переходов воды. Приток тепла за счёт диссипации мезо- и макро-движений. Приток тепла за счёт молекулярной и турбулентной/конвективной теплопроводности. Вентильный эффект.

Объяснение основных особенностей вертикального распределения температуры в планетных атмосферах (тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера). Приближение лучистого равновесия. Парниковый эффект. Лучисто-конвективная модель. Тропопауза.

## **2.11. Облака. Осадки**

Условия равновесия двухфазной и трёхфазной однокомпонентной термодинамической системы. Стабильные и нестабильные состояния. Поверхностное натяжение и свободная энергия "поверхностной фазы". Условия равновесия системы газ-заряженная капля. Уравнение Дж. Томсона. Образование и рост зародышевой капли в чистой газообразной фазе. Капли критического размера и вероятность их образования. Уравнение Клейперона-Клаузиуса. Упругость пара над растворами. Ядра конденсации, сублимации и кристаллизации и роль в образовании жидкой и твёрдой фаз воды.

Изменение размера капель и кристаллов путём молекулярной диффузии водяного пара. Типы коагуляции капель. Коэффициенты соударения, слияния и захвата или коагуляции. Эффект дробления капель. Кинетическое уравнение для распределения капель по размерам. Уравнение водности. Микрофизические характеристики облаков и туманов.

Процессы образования облаков и туманов и классификация их по генетическому признаку. Понятия воздушной массы и фронтальной поверхности. Общая постановка задачи возникновения и развития облаков. Системы уравнений для слоистого и кучевого облаков.

Механизм образования осадков из водяных и смешанных облаков. Искусственные воздействия на облака и туманы. Физические механизмы воздействия и их практическая реализация. Способы стимулирования термической конвекции.

## **2.12. Атмосферное электричество**

Заряды облачных капель и осадков. Пространственное распределение зарядов в грозовом облаке. Грозовые разряды, молния и механизмы её развития. Основные электрические характеристики окружающей среды. Электропроводность. Подвижность носителей заряда. Основные ионизаторы атмосферы. Естественный радиационный фон Земли и ионизирующие излучения. Условия ионного равновесия. Плотность электрического тока. Природа и основные свойства глобальной электрической цепи. Баланс электрических токов в атмосфере (токи с острой (тихие разряды), токи осадков, ток грозовых разрядов, горизонтальные токи).

## **2.13. Магнитосфера**

Современные представления о структуре магнитосферы. Авроральная магнитосфера, разделяющая внутреннюю и внешнюю магнитосферу. Зоны корпускулярных вторжений в спокойных и в возмущенных условиях. Зависимость размеров дневной магнитопаузы от динамического давления солнечного ветра. Положение магнитопаузы и ориентация межпланетного магнитного поля.

## **2.14. Ионизация верхней атмосферы и околоземного космического пространства**

Фотоионизация и фотохимические процессы в ионосфере. Рекомбинационные процессы. Уравнение непрерывности. Образование ионосферных слоев. Морфология ионосферных слоев. Область  $D$ . Область  $E$ . Регулярный слой  $E$ . Спорадический слой  $E_s$ . Область  $F$  (слои  $F1, F2$ ). Механизмы формирования слоя  $F2$  и крупномасштабной неоднородной структуры. Внешняя ионосфера и экзосфера.

### **3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В АСПИРАНТУРУ ПО ФИЗИКЕ АТМОСФЕРЫ И ГИДРОСФЕРЫ**

#### **Основная литература:**

1. Аксенов В.В. Электромагнитное поле Земли. Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН. 2002.
2. Атмосферная электрооптика: учебное пособие для вузов.- Томск: Изд-во НТЛ, 2010.
3. Афраймович А.Л., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2006.
4. Гандин Л.С. и др. Основы динамической метеорологии. Гидрометеоиздат. 1955.
5. Гилл А. Динамика атмосферы и океана. В 2-х томах. М. Мир. 1986.
6. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М. Мир. 1971.
7. Донченко В.А. Распространение оптических волн в дисперсных средах: учебное пособие.- Томск: Изд-во НТЛ, 2012.
8. Захаровская Н.Н., Ильинич В.В. Метеорология и климатология.- М.: Коллесс, 2005.
9. Кашleva L.B. Атмосферное электричество. Учебное пособие. – СПб, РГГМУ, 2008.
10. Красненко Н.П. Акустические методы исследования пограничного слоя атмосферы. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2001.
11. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Гидрометеоиздат. Л. 1961.
12. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеоиздат. 1965.
13. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М. Мир. 1987.
14. Нагорский П.М. Диэлектрическая проницаемость окружающей среды. Томск: Изд-во ТГУ. 2002.
15. Переведенцев Ю.П. Теория общей циркуляции атмосферы: учебное пособие / Ю.П. Переведенцев, И.И. Мохов, А.В. Елисеев, К.М. Шанталинский, Н.А. Важнова. – Казань: Казан. ун-т, 2013.
16. Переведенцев Ю.П. Теория Климата / Ю.П. Переведенцев. – 2-е издание перераб. и доп. Казань: Изд-во Казан, ун-та, 2009.
17. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. М.: Техносфера. 2006.
18. Семенченко Б.А. Физическая метеорология. М.: Аспект Пресс, 2002.
19. Тверской П.Н. Курс метеорологии (физика атмосферы). Гидрометеоиздат. 1962.

20. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретические основы атмосферной оптики. Наука, Л., 2003.
21. Трухин В.И. Общая и экологическая геофизика: Учебник.-М.: Физматлит, 2005.
22. Хинце И.О. Турбулентность. ГИФМЛ. М., 1963.
23. Эккарт К. Гидродинамика океана и атмосферы. ИИЛ. 1963.
24. Яновский В.М. Земной магнетизм. ч. 1, Л. Изд. ЛГУ, 1964.

**Дополнительная литература:**

1. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Под ред. Ерохина Г.А. М.: Горячая линия. 2004.
2. Аэрозоли Сибири (Интеграционные проекты СО РАН, вып.9) / Под ред. Куценогого К.П. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2006.
3. Башаринов А.Е., Гурвич А.С., Егоров С.Т. Радиоизлучение ЗЕМЛИ КАК ПЛАНЕТЫ, М. Наука. 1974.
4. Благовещенская Н.Ф. Геофизические аспекты активных воздействий в околоземном пространстве. С.-П-б. Гидрометеоиздат. 2001.
5. Бочкарев Н. Н. Прикладная атмосферная оптоакустика мощных лазерных пучков: для студентов соотв. специальностей.- Томск: ТГАСУ, 2008.
6. Геофизика. Околоземное космическое пространство. Мир. 1964.
7. Гуди Р.М. Атмосферная радиация. Основы теории. Мир. 1966.
8. Зуев В.В., Ельников А.В., Бурлаков В.Д. Лазерное зондирование средней атмосферы. Томск: Раско. 2002.
9. Кароль И.Л., Розанов В.В., Тимофеев Ю.М. Газовые примеси в атмосфере. Л. Гидрометеоиздат. 1983.
10. Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. Термическое зондирование атмосферы со спутников. – Гидрометеоиздат. 1970.
11. Кондратьев К.Я. Тимофеев Ю.М. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса.- Гидрометеоиздат. 1978

Программа вступительного экзамена рассмотрена и рекомендована к утверждению решением Ученого Совета ИМКЭС СО РАН.

Протокол УС ИМКЭС СО РАН № 3 от 6.02 2015 года.