

ФАНО России  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт морской геологии и геофизики  
Дальневосточного отделения Российской академии наук  
(ИМГиГ ДВО РАН)

"УТВЕРЖДАЮ"  
Директор ИМГиГ ДВО РАН  
д.ф.-м.н.  
Л.М. Богомолов  
" 21 " марта 2017 г.  
Протокол Ученого Совета № 2  
от 15.03.2017 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА ПО  
СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
по направлению подготовки кадров высшей квалификации  
05.06.01 Науки о Земле

по научной специальности  
**25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы»**  
(очная, заочная форма обучения)

**Южно-Сахалинск  
2017**

Целью вступительного экзамена в аспирантуру по специальности является выявление уровня теоретической и практической подготовки поступающего в области, соответствующей выбранной специальности. Экзамен выявляет умение претендента использовать знания, приобретенные в процессе теоретической подготовки, для решения профессиональных задач, а также его подготовленность к продолжению образования по программам послевузовского профессионального образования.

Претендент на поступление в аспирантуру должен быть широко эрудирован, иметь фундаментальную научную подготовку, владеть современными информационными технологиями, включая методы получения, обработки и хранения информации, уметь самостоятельно формировать научную тематику, организовывать и вести научно-исследовательскую деятельность по избранной научной специальности. Требования к уровню специализированной подготовки, необходимому для освоения образовательной программы высшего образования, и условия конкурсного отбора включают:

*навыки:*

- владение самостоятельной научно-исследовательской и научно-педагогической деятельностью, требующей широкого образования в соответствующем направлении;

*умения:*

- обрабатывать полученные результаты, анализировать и осмысливать их с учетом имеющихся литературных данных;
- вести библиографическую работу с привлечением современных информационных технологий;
- представлять итоги проделанной работы в виде отчетов, рефератов, оформленных в соответствии с имеющимися требованиями, с привлечением современных средств редактирования и печати;

*знания:*

- исторических этапов развития современного состояния и перспектив науки;
- принципов построения и методологии исследований;
- роли своей профессиональной деятельности, ее значения и последствий для природы и общества.

#### 25.00.29 - Физика атмосферы и гидросферы

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. Состав атмосфер других планет (Венера, Марс, планеты-гиганты). Диффузионно-гравитационное разделение газов. Понятие о фотохимическом времени жизни компоненты и времени перемешивания. Озон в атмосфере и теория его вертикального распределения.
2. Основные определения: интенсивность, плотность, поток излучения, приток лучистой энергии. Уравнение переноса излучения в общем виде. Коэффициенты ослабления и излучения. Функция источника, вероятность выживания кванта,

индикатриса рассеяния. Вектор-параметр Стокса. Закон Бугера -Ламберта. Решение уравнения переноса излучения.

3. Спектры атмосферных газов. Контур и ширина линий. Уширение в результате столкновений и доплер-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.
4. 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 объёма 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, gloria).
5. 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.
6. Оптические характеристики поверхностей. Альbedo 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.
7. 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 альbedo, вытянутости индикатрисы рассеяния, оптической толщины и зенитного угла солнца.
8. Уравнение переноса собственного теплового излучения. Полосы поглощения, ответственные за перенос собственного излучения. Интенсивности линии и полосы. Кинетическое уравнение заселённости состояний молекулы. Локальное термодинамическое равновесие (ЛТР) для поступательных, колебательных и вращательных степеней свободы молекул. Нарушение ЛТР и влияние этого нарушения на перенос теплового излучения атмосферы.
9. Функции пропускания атмосферы, их роль при решении прямых и обратных задач. Приближенные методы теории переноса теплового излучения - модели полос поглощения, k - метод, фактор диффузности, пропускание смеси газов.
10. Прямые и обратные задачи атмосферной оптики. Различные типы обратных задач атмосферной оптики. Дистанционные методы измерений атмосферных параметров. Классификация дистанционных методов по различным признакам. Блок-схема дистанционных измерений. Роль априорной информации при решении обратных

задач атмосферной оптики. Различные типы априорной информации при решении обратных задач.

11. 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.
12. Формулировка физико-математической модели дистанционных измерений в тепловой области спектра. Определение температуры подстилающих поверхностей. Методы учета влияния атмосферы при определении температуры подстилающих поверхностей. Определение вертикального профиля температуры атмосферы. Дистанционный метод определения характеристик газового состава атмосферы.
13. Формулировка физико-математической модели дистанционных измерений по рассеянному и отраженному излучению. Определение вертикального профиля и общего содержания озона. Наземный метод определения вертикального профиля и общего содержания озона. Определение аэрозольных характеристик атмосферы. Поляризационный метод определения содержания озона и характеристик аэрозольного состояния атмосферы.
14. Активные методы дистанционного зондирования атмосферы и поверхности - лазерное и радиолокационное зондирование. Уравнение радиолокации и лидарное уравнение. Пространственное разрешение методов. Методы определения температуры, газового и аэрозольного состава атмосферы, поля ветра.
15. Уравнение неразрывности. Уравнение движения (формы записи Эйлера и Рейнольдса). Объёмные и поверхностные силы, действующие в атмосфере. Тензор вязких напряжений и сила молекулярной вязкости. «Сила инерции». Сила Кориолиса.
16. 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- Вяйсяля.
17. 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. Сила турбулентного трения. Турбулентный поток и приток тепла. Равновесный градиент температуры Полуэмпирическая теория Прандтля в турбулентности и пределы ее применимости. Путь смешения, коэффициент турбулентности.
18. Уравнение баланса кинетической энергии осреднённого движения. Уравнение баланса турбулентной энергии в общем виде, используемое в атмосферных задачах. Работа сил плавучести. Критерии Рейнольдса и Ричардсона возникновения и развития турбулентных пульсаций. Применение критериев устойчивости к

интерпретации пространственного распределения интенсивности турбулентности в атмосфере. Турбопауза.

19. Статистическое описание турбулентности. Моменты. Лагранжевы и Эйлеровы коэффициенты корреляции. Автокорреляция и взаимные корреляционные функции. Макро- и микро-масштабы времени и длины. Метод Лагранжа в турбулентной диффузии, связь среднеквадратичного отклонения частицы с коэффициентом корреляции, зависимость среднеквадратичного отклонения от времени в предельных случаях. Связь дисперсии расплывания облака частиц с коэффициентом диффузии.
20. Спектр турбулентности. Спектральная функция. 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.
21. 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 антициклонах.
22. Вертикальный профиль ветра в пограничном слое, спираль Экмана. Замыкание системы уравнений для пограничного слоя. Теории подобия для пограничного слоя.
23. Свободная термическая конвекция. Уравнения термической конвекции в приближении Бусинеска. Критическое число Релея. Свободная конвекция в атмосфере, обусловленная горизонтальным градиентом температуры: местные ветра (бризы и горно-долинные ветра), мусонная циркуляция, макромасштабные конвективные ячейки (циркуляция Хэдли).
24. Наблюдения акустико-гравитационных волн (АГВ) в атмосфере. Линейная теория АГВ. Дисперсионные и поляризационные соотношения. Плотность энергии и ее потока для АГВ.
25. 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.
26. 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.
27. Бароклинная и баротропная неустойчивость зонального потока как причина циклонообразования на умеренных и высоких широтах. Режим циркуляции Россби и Хэдли. Опыты во вращающихся сосудах.

28. Факторы теплового режима 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. Тепловой эффект фазовых переходов воды. Приток тепла за счёт диссипации мезо- и макро-движений. Приток тепла за счёт молекулярной и турбулентной/конвективной теплопроводности. Вентильный эффект.
29. Объяснение основных особенностей вертикального распределения температуры в планетных атмосферах (тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера). Приближение лучистого равновесия. Парниковый эффект. Лучисто-конвективная модель. Тропопауза.
30. 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 Клайперона-Клаузиуса. Упругость пара над растворами. Ядра конденсации, сублимации и кристаллизации и роль в образовании жидкой и твёрдой фаз воды.
31. 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.
32. 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.
33. 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.
34. Газовое электричество. Заряды облачных капель и осадков. Пространственное распределение зарядов в грозовом облаке. Грозовые разряды, молния и механизмы её развития.
35. Полярные сияния, свечения ночного неба, дневное и сумеречное свечение. Их спектры, механизмы, высоты и критерии различения.

### **Литература**

1. Гуди Р.М. Атмосферная радиация. Основы теории. Мир., 1966.
2. Космическая физика. Мир., 1966.
3. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеиздат. 1965.
4. Митра С.К. Верхняя атмосферы. ИЛ. 1955.
5. Николе М. Аэрномия. Мир. 1964.

6. Тверской П.Н. Курс метеорологии (физика атмосферы). Гидрометеиздат. 1962.
7. Хвосчиков И.А. Высокие слои атмосферы. Гидрометеиздат. 1964.
8. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. ГИФЛМ, 1958.
9. Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. ИЛ. 1963.
10. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретические основы атмосферной оптики. Наука, Л., 2003.
11. Гуди Р.М. Атмосферная радиация. Основы теории. Мир. 1966.
12. Соболев В.В. Перенос лучистой энергии в атмосферах звёзд и планет. ГИТТЛ. 1965.
13. Минин И.Н. Теория переноса излучения в атмосферах планет. М., Наука. 1988. 264 с.
14. Дейрменджан Д. Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами. М. Мир. 1971ю 165 с.
15. Ку-Нан Лиоу. Основы радиационных процессов в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат. 1984.376 с.
16. Кондратьев К.Я., Тимофеев Ю.М. Термическое зондирование атмосферы со спутников.
17. Кондратьев К.Я. Тимофеев Ю.М. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса.
18. Кароль И.Л., Розанов В.В., Тимофеев Ю.М. Газовые примеси в атмосфере. Л. Гидрометеиздат. 1983. 192 с.
19. Малкевич М.С. Оптические исследования атмосферы со спутников. М. Наука. 1973. 303 с.
20. Турчин В.Ф., Козлов В.П., Малкевич М.С. Использование методов математической статистики для решения некорректных задач. УФН. 1970г. 102, N 3 с. 33-55
21. Степаненко В.Д., Радиолокация в метеорологии. Л. Гидрометеиздат. 1973. -343 с.
22. Башаринов А.Е., Гурвич А.С, Егоров СТ. Радиоизлучение Земли как планеты, М. Наука. 1974.- 188 с.
23. Лазерный контроль атмосферы. Под ред. Э.Дэ Хинкли. М. Мир. 1979. - 416 с.
24. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование. М. Мир. 1987. - 550 с.
25. Stephens G.L. Remote Sensing of the Lower Atmosphere. An Introduction. New York, Oxford. Oxford University Press. 1994. - 523 p.
26. Гандин Л.С. и др. Основы динамической метеорологии. Гидрометеиздат. 1955.
27. Гуди Р.М. Атмосферная радиация. 1. Основы теории. Мир. М., 1966.
28. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. Наука. М., 1967.
29. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Гидрометеиздат. Л. 1961.
30. Ламли Дж., Пановский Г. Структура атмосферной турбулентности. Мир. М., 1966.
31. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. ГИТТЛ. М., 1954.
32. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Гидрометеиздат. Л., 1965.
33. Пинус Н.З., Шметер СМ. Аэрология ч. 2. Гидрометеиздат. 1965
34. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. Наука. М., 1967.
35. Ю.Тверской П.Н. Курс метеорологии. Гидрометеиздат. М. 1963.
36. Хинце И.О. Турбулентность. ГИФМЛ. М., 1963.
37. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. ГИФМЛ. М., 1958.
38. Геофизика. Околосферное космическое пространство. Мир. 1964.
39. Месси Х.С., Бонд Р.Л. Верхняя атмосфера. Гидрометеиздат. 1962.
40. Митра С.К. Верхняя атмосфера. ИИЛ. 1955.
41. Сазонов Б.И. Высотные барические образования и солнечная активность. Гидрометеиздат. 1964.
42. Солнечная активность и изменения климата. Гидрометеиздат. 1966.
43. Солнечно-земная физика. Мир. 1968.
44. Успехи физических наук. Т. 87. вып. 3. 1965. две статьи Кахилла: Т.89. вып. 4. 1966, статья Акасофу и О'Брайена.

45. Чемберлен Дж. Физика полярных сияний и излучения атмосферы. ИИЛ. 1963.
46. Эккарт К. Гидродинамика океана и атмосферы. ИИЛ. 1963.
47. Яновский В.М. Земной магнетизм, ч. 1, Л. Изд. ЛГУ, 1964.