

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики  
Российской академии наук» (ИПФ РАН)**

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора по научной работе

\_\_\_\_\_ М.Ю. Глявин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Физика атмосферы и гидросферы**

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации

Направление подготовки / специальность  
05.06.01 Науки о Земле

Направленность образовательной программы  
25.00.29 Физика атмосферы и гидросферы

Квалификация (степень)  
Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения  
очная

Нижний Новгород

20\_\_

## 1. Место и цели дисциплины в структуре образовательной программы (ОП)

Дисциплина «Физика атмосферы и гидросферы» относится к числу профильных дисциплин вариативной части образовательной программы, является обязательной для освоения и изучается на втором году обучения, в четвертом семестре.

Данная дисциплина опирается на знания, полученные в ходе изучения курсов «Геофизическая электродинамика», «Механика сплошных сред», «Термодинамика», «Физика колебательных и волновых процессов», «Обратные задачи физической диагностики».

### Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у аспирантов фундаментальных знаний о физических процессах в геосферных оболочках (геосферах), химических процессах в атмосфере Земли, их механизмах и взаимосвязях.
- формирование у аспирантов профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 05.06.01 Науки о земле и направленностью подготовки 25.00.29 Физика атмосферы и гидросферы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП (компетенциями выпускников)

Таблица 1:

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> <i>способность самостоятельно разбираться, непредвзято оценивать и оперативно ориентироваться в передовых идеях и самых последних достижениях современной физики</i> (этап освоения – завершающий)	<i>З1 (ПК-1) Знать наиболее перспективные и быстро развивающиеся направления разделов физики, затрагиваемых настоящим курсом; основные нерешенные научные проблемы; недавние и планируемые новаторские эксперименты; а также активно действующие в рамках рассматриваемых тематик научные коллективы</i> <i>У1 (ПК-1) Уметь разбираться и извлекать требуемую информацию из научных статей, публикуемых в ведущих научных журналах по затрагиваемым разделам физики и относящихся не к учебной, а к профессиональной (в том числе, узкопрофессиональной) литературе; доносить суть физической проблемы, постановки физической задачи, предлагаемых путей решения и достижений до аудитории исследователей-физиков, включающей не только узких специалистов</i> <i>В1 (ПК-1) Владеть навыками получения информации о состоянии конкретной научной проблемы, включая поиск научных публикаций по теме и беглый анализ их значимости; расширения научного кругозора в областях, не совпадающих с непосредственной исследовательской задачей обучаемого</i>
<b>ПК-2</b> <i>способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя знания фундаментальных разделов наук о Земле, современные</i>	<i>З1(ПК-2) Знать состав и строение геосферных оболочек Земли, основные физические процессы в геосферных оболочках, причинно-следственные связи, ведущие к изменениям окружающей среды</i> <i>У1(ПК-2) Уметь систематизировать основные источники знаний о геосферных оболочках Земли, анализировать результаты использования простейших моделей; объяснять причины и</i>

<p><i>методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта</i> (этап освоения – <b>завершающий</b>)</p>	<p>последствия изменения окружающей среды и биосферы; систематизировать основные источники знаний об океане; физических процессах, происходящих в нем, пользоваться простейшими количественными и качественными оценками при анализе основных разномасштабных динамических процессах, проходящих в океане  <b>В1 (ПК-2)</b> Владеть современными методами моделирования геосферных оболочек, включая биосферу; современными методами при анализе физических и химических процессов, протекающих в различных геосферах</p>
<p><b>ПК-3</b>  <i>способность использовать специализированные знания в области физики атмосферы и гидросферы для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности</i> (этап освоения – <b>завершающий</b>)</p>	<p><b>З1 (ПК-3)</b> Знать химический состав атмосферы Земли, причины и последствия влияния человеческой деятельности на состав атмосферы; динамику процессов на поверхности и в приповерхностном слое океана  <b>У1 (ПК-3)</b> Уметь систематизировать основные источники знаний о химическом составе атмосферы Земли, анализировать результаты использования простейших моделей  <b>В1 (ПК-3)</b> Владеть простейшими количественными методами при анализе химического состава атмосферы и процессов, его определяющих</p>

По результатам освоения дисциплины «Физика атмосферы и гидросферы» и изученных ранее специальных дисциплин (дисциплин по выбору) аспиранты сдают кандидатский экзамен по специальности 25.00.29 Физика атмосферы и гидросферы.

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (24 часа занятия лекционного типа, 12 часов занятия семинарского типа – семинары, научно-практические занятия, в. т.ч. мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов – подготовка и сдача кандидатского экзамена, 34 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2:

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					
		из них				Всего	
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации		
Земля - планета солнечной системы. Гравитационное поле Земли	4	2				2	2
Строение Земли. Литосфера	5	2	1			3	2
Физические процессы в атмосфере	5	2	1			3	2
Химическо-транспортные	5	2	1			3	2

модели атмосферы. Моделирование химических процессов в тропосфере и пограничном слое							
Базовые динамические модели атмосферных фотохимических систем и методы их построения. Нелинейно-динамические свойства полярной нижнестратосферной фотохимической системы	5	2	1			3	2
Нелинейно-динамические свойства мезосферной фотохимической системы с учетом различных типов атмосферного переноса	5	2	1			3	2
Теория турбулентности (в атмосфере и океане)	5	2	1			3	2
Течения в океане	3	1				1	2
Водные массы и вертикальная структура океана. Внутренние волны	4	1	1			2	2
Ветровые волны	4	1	1			2	2
Транспорт примеси	4	1	1			2	2
Теоретические основы отображения динамических процессов в океане и атмосфере в радиолокационных изображениях морской поверхности	4	1	1			2	2
Криосфера	4	1	1			2	2
Магнитное поле Земли. Магнитосфера. Ионосфера	4	1	1			2	2
Геофизическая электродинамика. Электрическое поле. Глобальная электрическая цепь	3	1				1	2
Биосфера	3	1				1	2
Взаимосвязь геосферных оболочек	3	1				1	2
в т.ч. текущий контроль				4			
Аттестация по дисциплине – экзамен					2		36
<b>Итого</b>	<b>108</b>						

## Содержание разделов дисциплины

### **Земля - планета солнечной системы. Гравитационное поле Земли.**

Современные представления о строении и развитии Вселенной. Солнечная система в Галактике. Планета Земля. История изучения Земли и познание физических законов. От законов Кеплера – к закону всемирного тяготения. Орбита Земли и ее изменения. Геосферные оболочки и взаимодействие между ними. Основные экологически значимые характеристики физической среды (климат и его составляющие, геофизические поля, свойства атмосферы, термодинамические свойства воды).

Гравитационное поле Земли – причина существования атмосферы и гидросферы. Атмосферные приливы. Молекулярный состав воздуха. Вертикальные распределения плотности и давления воздуха; барометрическая формула. Распределение температуры с высотой. Статическая устойчивость атмосферы. Гравитационные волны в атмосфере. Исследования Земли из космоса.

### **Строение Земли. Литосфера.**

Методы исследования земных глубин. Уравнения движения упругой среды. Сейсмические волны. Собственные колебания Земли. Земная кора, мантия, ядро. Геологические свидетельства текучести литосферы. Концепция тектоники плит. Физическая природа вулканизма. Землетрясения; прогноз землетрясений. Современные представления об истории литосферы. Геохронологическая шкала.

### **Физические процессы в атмосфере.**

Состав, строение, радиационные процессы и тепловой режим атмосферы. Роль малых газовых составляющих атмосферы. Физические свойства и экологическое значение воды в атмосфере. Общие условия фазовых переходов воды. Географическое распределение влажности; облака и осадки. Основы динамики атмосферы. Крупномасштабная циркуляция атмосферы. Циркуляция тропической зоны и циркуляция умеренных широт. Взаимодействие атмосферы с другими географическими оболочками. Различные типы волн в атмосфере. Атмосферная турбулентность.

### **Химическо-транспортные модели атмосферы. Моделирование химических процессов в тропосфере и пограничном слое.**

0-мерные и 1-мерные модели. Химическо – транспортные модели. Характеристика основных блоков химическо - транспортной модели нижней атмосферы. Особенности моделирования динамики атмосферного аэрозоля. Понятие об ассимиляции данных измерений моделями. Понятие об обратном моделировании источников загрязняющих веществ.

### **Базовые динамические модели атмосферных фотохимических систем и методы их построения. Нелинейно-динамические свойства полярной нижнестратосферной фотохимической системы.**

Принципы построения базовых динамических моделей (БДМ). БДМ полярной нижнестратосферной фотохимической системы. Явление антарктической озонной дыры: общая характеристика и основные процессы, ответственные за ее образование. Нелинейно-динамический анализ химических процессов и антропогенных факторов, определяющих истощение озонного слоя в полярных широтах.

### **Нелинейно-динамические свойства мезосферной фотохимической системы с учетом различных типов атмосферного переноса.**

БДМ мезосферной фотохимической системы (ФХС). Физические и химические механизмы нелинейного отклика мезосферной ФХС на суточные вариации освещенности. Динамика малых газовых составляющих в мезосфере и влияние на нее процессов переноса. Реакционно-диффузионные волны в мезосфере Земли.

### **Теория турбулентности (в атмосфере и океане).**

Гидродинамическая неустойчивость. Неустойчивость тангенциального разрыва. Неустойчивость плавного плоскопараллельного потока жидкости. Уравнение Орра-

Зоммерфельда и уравнение Рэлея. Теорема Рэлея об устойчивости плоскопараллельного потока идеальной жидкости. Развитая турбулентность. Гипотезы Колмогорова о статистических свойствах мелкомасштабной турбулентности при больших числах Рейнольдса. Инерционный интервал. Закон  $2/3$ . Уравнения Рейнольдса. Уравнение баланса турбулентной энергии. Полуэмпирические теории турбулентности. Примеры турбулентных геофизических потоков (логарифмический пограничный слой, слой Экмана). Влияние плотностной стратификации на характеристики турбулентности.

### **Течения в океане.**

Уравнения движения (Эйлера, Лагранжа, Навье—Стокса, Рейнольдса). Уравнение неразрывности, уравнение гидростатики. Силовые поля в океане, вызывающие течения. Понятие о баротропности и бароклинности океана. Геоострофические течения. Экмановские пограничные слои. Ветровая крупномасштабная циркуляция океана. Основные течения в океане (Гольфстрим, Куроисио, экваториальное противотечение).

### **Водные массы и вертикальная структура океана. Внутренние волны.**

Основные закономерности формирования и изменчивости полей температуры, солености и плотности вод. Тонкая структура гидрофизических полей, механизмы ее генерации. Внутренние волны на границе двух сред. Внутренние волны в океане с непрерывной стратификацией. Элементы нелинейной теории внутренних волн. Взаимодействие внутренних волн с течениями в океане. Генерация внутреннего прилива при трансформации баротропного прилива на континентальном шельфе. Механизмы генерации и диссипации мелкомасштабных внутренних волн. Взаимодействие внутренних волн с ветровым волнением (кинематический, пленочный и каскадный механизмы).

### **Ветровые волны.**

Основы гидродинамической теории поверхностных гравитационных и гравитационно-капиллярных волн. Дисперсия, дисперсионные уравнения, фазовая и групповая скорость волн. Короткие и длинные волны. Линейные и нелинейные волны. Энергия волн и ее поток. Ветровые волны: статистические и спектральные методы описания. Механизмы генерации ветровых волн и законы их развития. Статистическое описание взволнованной поверхности. Автомодельные спектры и распределения вероятностей ветрового волнения. Спектральные методы расчета ветровых волн. Обрушение волн и насыщение спектра. Трансформация ветровых волн на мелководье и течениях. Ветровая рябь. Зыбь. Индуцированные течения. Ветровые волны в приповерхностном слое.

### **Транспорт примеси**

Основные уравнения для примеси. Диффузия примеси в стратифицированном океане. Дрейф льда. Пленки поверхностно - активных веществ и их влияние на взволнованную морскую поверхность. Размывы дна и эрозия берегов под действием волн и течений.

### **Теоретические основы отображения динамических процессов в океане и атмосфере в радиолокационных изображениях морской поверхности.**

Основные механизмы модуляции коротких ветровых волн в поле переменных поверхностных течений, внутренних и длинных поверхностных волн.

Влияние поверхностных пленок на короткие поверхностные волны и радиолокационное рассеяние.

### **Криосфера.**

Образование снега и снежного покрова. Слоистая структура снежных покровов. Снежный покров материков. Снежные метели. Физика возникновения снежных лавин. Физика льда. Типы ледников. Движение ледников. Морские льды. Айсберги. Моделирование и прогноз эволюции морских и материковых льдов. Роль криосферы в формировании климата.

### **Магнитное поле Земли. Магнитосфера. Ионосфера.**

Земля – гигантский магнит. Структура и характеристики земного магнитного поля. Магнитное динамо. Магнитосфера. Солнечный ветер. Движение заряженных частиц в неоднородном

магнитном поле. Радиационные пояса Земли. Магнитные бури. Люминесценция. Электронные и протонные полярные сияния.

Заряженные частицы в атмосфере, их источники и распределение с высотой. Ионизованная оболочка Земли. Ионосферные слои D, E, F. Дневная и ночная ионосфера. Ионосферный ток. Распространение радиоволн в атмосфере. Проблема космической погоды.

### **Геофизическая электродинамика. Электрическое поле. Глобальная электрическая цепь.**

Электрическое поле приземной атмосферы. Космические лучи и другие источники ионизации атмосферы. Глобальная электрическая цепь. Генераторы атмосферного электричества. Образование грозных облаков. Физика молниевых разрядов. Разряды в верхних слоях атмосферы. Электрические процессы при пылевых и снежных бурях, мощных взрывах и вулканических извержениях. Электрические процессы на других планетах и их спутниках.

### **Биосфера**

Единство и взаимосвязь органической жизни и физической среды. Абиотические и биотические факторы. Среды обитания экосистем. Энергетика экосистем в свете основных законов термодинамики. Физические характеристики солнечного излучения. Фотосинтез. Трофическая структура и экологические пирамиды. Биосфера как иерархия открытых диссипативных экосистем. История биосферы. Устойчивость и изменчивость экосистем. Воздействие антропогенной деятельности на среду и деградация биосферы.

### **Взаимосвязь геосферных оболочек. Климат**

*Основные блоки климатических моделей.* Параметризация основных климато-формирующих процессов в климатических моделях. Моделирование динамики атмосферы. Общая циркуляция атмосферы; энергетика общей циркуляции. Моделирование динамики океана. Стратификация океана. Термохалинная циркуляция. Верхний слой океана. Общая циркуляция океана. Синоптическая изменчивость океанских течений. Северо-атлантическое глубинное течение. Поверхность суши и гидрология суши. Моделирование составляющих криосферы.

*Современные модели климата.* Малопараметрические модели климата. Энергобалансовые модели. Теория подобия для циркуляции планетных атмосфер. Радиационно-конвективные модели. Двумерные климатические модели. Модели широтной структуры. Зональные модели. Модель ледниковых периодов Сергиных. Современные трехмерные модели глобального климата: достижения и проблемы. Эмпирические модели климата.

*Глобальные и региональные климатические изменения и их моделирование.* Связь глобальных и региональных климатических изменений. Увеличение содержания углекислого газа и других малых составляющих атмосферы, влияющих на радиационный баланс. Моделирование парникового эффекта газов и аэрозолей.

*Современные тенденции в теории климата.* Проблемы моделирования внезапных климатических изменений. Природные катастрофы в геологической истории Земли. Прогноз антропогенных катастрофических явлений глобального и регионального масштаба. Предсказуемость и прогноз изменений климата; их значение для хозяйственной деятельности человека.

## **4. Образовательные технологии**

Основными видами образовательных технологий дисциплины «Физика атмосферы и гидросферы» являются занятия лекционного типа с применением технологий интерактивного обучения (презентаций), проблемный метод изложения материала, диалоговая форма проведения занятий и самостоятельная работа аспиранта. Для активизации познавательного процесса проводятся также занятия семинарского типа: аспирантам даются задания по самостоятельной подготовке семинаров по тематике лекций, которые впоследствии представляются в виде устных презентаций с последующим обсуждением.

## **5. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки ИПФ РАН, в компьютерном классе с доступом к ресурсам Интернет и в домашних условиях.

Порядок выполнения самостоятельной работы соответствует программе курса и контролируется в ходе аудиторных занятий по данной дисциплине. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим рекомендованные учебники и учебно-методические пособия, доступные ресурсы в Интернет по тематике курса, а также конспекты и презентации лекций.

## 6. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

### 6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), и уровня их сформированности

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

### 6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине. Описание шкал оценивания

Для оценивания сформированности компетенций используется промежуточная аттестация в форме кандидатского экзамена с оценкой по пятибалльной шкале («плохо», «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). Кандидатский экзамен сдается по совокупности всех освоенных за время обучения специальных дисциплин.

#### Критерии оценок:

Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с очень незначительными погрешностями
Хорошо	В целом хорошая подготовка с рядом заметных ошибок
Удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям
Неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытаний
Плохо	Подготовка совершенно недостаточная

### 6.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций.

Промежуточная аттестация в форме кандидатского экзамена проводится по программе кандидатского экзамена по специальности 25.00.29 Физика атмосферы и гидросферы. (Приложение 2)

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) Общая геофизика. Ред. В.А.Магницкий. Изд. МГУ, 1995.  
<http://www.studfiles.ru/preview/4521494/>
- 2) Океанология, Физика океана, Том 1-2 под ред. В.М. Каменковича и А.С. Моница. М., Наука, 1978 г. 3 экз.
- 3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М. Наука, 1986. 7 экз.
- 4) THE FORMATION OF ACOUSTICAL FIELDS IN OCEANIC WAVEGUIDES. Co-Editors Prof. V. I. Talanov Prof. V. A. Zverev.1995. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН]. <http://www.iapras.ru/biblio/img/af.pdf>
- 5) Методы гидрофизических исследований. *Материалы I Всесоюзной школы (Солнечногорск, октябрь 1983г.)* [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/gi.pdf>
- 6) Методы гидрофизических исследований. Турбулентность и микроструктура. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/new/metgis90.pdf>
- 7) Методы гидрофизических исследований. Волны и вихри. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/new/metgis87.pdf>

б) дополнительная литература:



- 1) J.R. Holton, An Introduction To Dynamic Meteorology, Fourth Edition, Elsevier Academic Press, 2004. [http://www.staff.science.uu.nl/~delde102/Holton\\_2004.pdf](http://www.staff.science.uu.nl/~delde102/Holton_2004.pdf)
- 2) Формирование акустических полей в океанических волноводах. Реконструкция неоднородностей. *Сборник научных трудов*. Ответственный редактор В. А. Зверев. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/R.pdf>
- 3) THE FORMATION OF ACOUSTICAL FIELDS IN OCEANIC WAVEGUIDES. Volume 1. Editor V. A. Zverev .1998. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН]. <http://www.iapras.ru/biblio/new/formakf1.pdf>
- 4) THE FORMATION OF ACOUSTICAL FIELDS IN OCEANIC WAVEGUIDES. Volume 2. Editor V. A. Zverev .1998. [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН]. <http://www.iapras.ru/biblio/new/formakf2.pdf>
- 5) В.В. Гончаров, В.Ю. Зайцев., В.М. Куртепов, А.Г. Нечаев, А.И. Хилько. «Акустическая томография океана» [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/img/ato.pdf>
- 6) Khil'ko Alexander I., Caruthers Jerald W. and Sidorovskaia Natalia A. Ocean Acoustic Tomography: A Review with Emphasis on the Russian Approach [Электронный ресурс – Виртуальная библиотека ИПФ РАН] <http://www.iapras.ru/biblio/new/actom.pdf>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Специальные помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет";
- Лицензионное программное обеспечение (*Windows, Microsoft Office*);
- Обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются (при необходимости) электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО (подготовка кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 05.06.01 Наука о Земле, направленность (специальность) – 25.00.29 Физика атмосферы и гидросферы.

Авторы \_\_\_\_\_ Ю.И. Троицкая

\_\_\_\_\_ С.А. Ермаков

Ответственный за направление подготовки \_\_\_\_\_ Е.А. Мареев,  
член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Рецензент:

Зав. отделом физики атмосферы и  
микроволновой диагностики \_\_\_\_\_ А.М. Фейгин, д.ф.-м.н., с.н.с.

Программа принята на заседании Ученого совета отделения геофизических исследований и  
Центра гидроакустики ИПФ РАН, протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года.

Ученый секретарь ОГИиЦГ \_\_\_\_\_ М.В. Шаталина

### Карты компетенций, в формировании которых участвует дисциплина

**ПК-1:** Способность самостоятельно разбираться, непредвзято оценивать и оперативно ориентироваться в передовых идеях и самых последних достижениях современной физики

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать наиболее перспективные и быстро развивающиеся направления разделов физики, затрагиваемых настоящим курсом; основные нерешенные научные проблемы; недавние и планируемые новаторские эксперименты; а также активно действующие в рамках рассматриваемых тематик научные коллективы	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями и неточностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь разбираться и извлекать требуемую информацию из научных статей, публикуемых в ведущих научных журналах по затрагиваемым разделам физики и относящихся не к учебной, а к профессиональной (в том числе, узкопрофессиональной) литературе; доносить суть физической проблемы, постановки физической задачи, предлагаемых путей решения и достижений до аудитории исследователей-физиков, включающей не только узких специалистов.	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими недочетами и неточностями	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть навыками получения релевантной информации о состоянии конкретной научной проблемы, включая поиск научных публикаций по теме и беглый анализ их значимости; расширения научного кругозора в областях, не совпадающих с непосредственной исследовательской задачей обучаемого.	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

**ПК-2:** способность проводить научные исследования и решать научно-исследовательские задачи, соответствующие направленности подготовки, используя знания фундаментальных разделов наук о Земле, современные методы исследований и информационные технологии, с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать состав и строение геосферных оболочек Земли, основные физические процессы в геосферных оболочках, причинно-следственные связи, ведущие к изменениям окружающей среды	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь систематизировать основные источники знаний о геосферных оболочках Земли, анализировать результаты использования простейших моделей; объяснять причины и последствия изменения окружающей среды и биосферы; систематизировать основные источники знаний об океане; физических процессах, происходящих в нем, пользоваться простейшими количественными и качественными оценками при анализе основных разномасштабных динамических процессах, проходящих в океане	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без положительного результата применения	Успешная демонстрация умений лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины с небольшими недочетами и неточностями	Успешная демонстрация умений по всем разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть современными методами моделирования геосферных оболочек, включая биосферу; современными методами при анализе физических и химических процессов, протекающих в различных геосферах	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

**ПК-3:** способность использовать специализированные знания в области физики атмосферы и гидросферы для решения научно-инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности

Индикаторы компетенций	Критерии оценивания результатов обучения				
	1 Плохо	2 Неудовлетворительно	3 Удовлетворительно	4 Хорошо	5 Отлично
<u>Знания:</u> Знать химический состав атмосферы Земли, причины и последствия влияния человеческой деятельности на состав атмосферы; динамику процессов на поверхности и в приповерхностном слое океана	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания без положительного результата применения	Успешная демонстрация знаний лишь по базовым разделам дисциплины	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины с небольшими погрешностями	Успешная демонстрация знаний по всем разделам дисциплины
<u>Умения:</u> Уметь систематизировать основные источники знаний о химическом составе атмосферы	Отсутствие умений	Фрагментарное присутствие умений без	Успешная демонстрация умений лишь по базовым	Успешная демонстрация умений по всем разделам	Успешная демонстрация умений по всем

Земли, анализировать результаты использования простейших моделей		положительного результата применения	разделам дисциплины	дисциплины с небольшими недочетами и неточностями	разделам дисциплины
<u>Навыки:</u> Владеть простейшими количественными методами при анализе химического состава атмосферы и процессов, его определяющих	Отсутствие навыков	Фрагментарные навыки без положительного результата применения	Успешная демонстрация навыков, соответствующая базовым разделам дисциплины, с некоторыми недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины, с небольшими недочетами	Успешная демонстрация навыков, соответствующая всем разделам дисциплины

**Программа кандидатского экзамена**

1. Планета Земля: характеристики, внутреннее строение.
2. Продольные и поперечные сейсмические волны. Собственные колебания Земли.
3. Основные характеристики землетрясений.
4. Физика разрушения. Классические представления об очаге землетрясения.
5. Уравнения магнитной гидродинамики. Волны в проводящей среде.
6. Магнитное динамо.
7. Основные сведения о магнитном поле Земли.
8. Магнитосфера. Воздействие Солнца на магнитосферу.
9. Уравнения электрической гидродинамики. ЭГД волны и течения.
10. Ионизация в атмосфере.
11. Глобальная электрическая цепь.
12. Электрическое поле в атмосфере и механизмы его генерации.
13. Изменение температуры воздуха с высотой. Виды температурной стратификации. Инверсии температуры.
14. Турбулентность в атмосфере.
15. Облака. Условия их образования и классификация.
16. Атмосферное давление. Закономерности распределения давления в атмосфере.
17. Ветер: его характеристики и факторы, их определяющие. Местные ветры. Геострофический и приземный ветер.
18. Атмосферные фронты. Облачные системы теплого и холодного атмосферных фронтов.
19. Циклоны и антициклоны. Малые атмосферные вихри.
20. Процессы и факторы формирования климата.
21. Уравнения движения сплошной среды. (Эйлера, Лагранжа, Навье—Стокса, Рейнольдса).
22. Уравнение неразрывности, уравнение гидростатики.
23. Волны в океане :поверхностные, внутренние волны, волны Россби.
24. Силовые поля в океане, вызывающие течения. Понятие о баротропности и бароклинности океана.
25. Геострофические течения.
26. Экмановские пограничные слои.
27. Ветровая крупномасштабная циркуляция океана. Основные течения в океане (Гольфстрим, Куроисио, экваториальное противотечение).
28. Основные типы химических процессов в мезосфере.
29. Понятие о времени жизни химических веществ. Основные экологически значимые малые примеси атмосферы и их характеристики.
30. Понятие и значение стратосферного озонного слоя.
31. Роль химического состава тропосферы для термического баланса атмосферы Земли: значение тропосферного озона и аэрозоля в контексте проблемы изменения климата.
32. Механизмы образования тропосферного озона.
33. Внутренние волны.
34. Длинные гравитационные волны.
35. Уравнение Орра-Зоммерфельда и уравнение Рэлея. Теорема Рэлея об устойчивости плоскопараллельного потока идеальной жидкости.
36. Развитая турбулентность. Гипотезы Колмогорова о статистических свойствах мелкомасштабной турбулентности при больших числах Рейнольдса.
37. Инерционный интервал. Закон  $2/3$ .
38. Уравнения Рейнольдса. Уравнение баланса турбулентной энергии. Полуэмпирические теории турбулентности.
39. Примеры турбулентных геофизических потоков (логарифмический пограничный слой, слой Экмана).