

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии, экологии и природопользования»

Рабочая программа по дисциплине

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ  
ПРОЦЕССОВ**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы бакалавриата по направлению подготовки

**05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»**

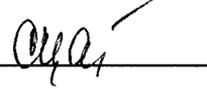
Направленность (профиль):  
**Прикладная метеорология**

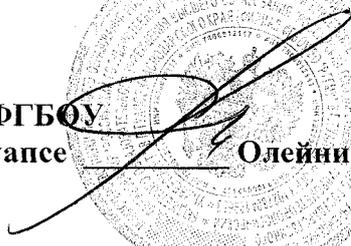
Квалификация:  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**Заочная**

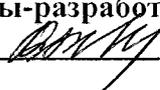
Год поступления 2019

Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Прикладная гидрометеорология»

  
Цай С.Н.

Утверждаю  
Директор филиала ФГБОУ  
ВО «РГГМУ» в г. Туапсе  Олейников С.А.

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры  
20 июня 2023 г., протокол № 4  
Зав. кафедрой  Цай С.Н.

Авторы-разработчики:  
 Иванов В.В.

Туапсе 2023

## ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Семестр	Всего по ФГОС Час/ ЗЕТ	Аудиторных Час	Лекций, Час	Практич. занятий, Час	Лаборат. работ, Час	СРС, Час	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
8	180/5	70	28		42	110	экзамен
Итого	180/5	70	28		42	110	экзамен

## ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Курс	Всего по ФГОС Час/ ЗЕТ	Аудиторных Час	Лекций, Час	Практич. занятий, Час	Лаборат. работ, Час	СРС, Час	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
5 зимн	180/5	12	4		8	168	экзамен
Итого	180/5	12	4		8	168	экзамен

Аннотация рабочей программы представлена в приложении 1.

### 1. Цели и задачи учебной дисциплины, ее место в учебном процессе

#### 1.1. Цели и задачи изучения дисциплины

**Цель дисциплины** «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» - сформировать и конкретизировать знания об основных гидродинамики и законах сохранения в сплошных средах и их применению к динамике атмосферы, ознакомление с теорией движения атмосферы Земли, основанной на законах гидродинамики и законах сохранения, а также использованию полученной информации в профессиональной деятельности.

**Задачи дисциплины** – формирование общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций при освоении ОПОП ВО, реализующей ФГОС ВО по следующим направлениям деятельности:

- ознакомление с основами гидродинамики и применения их для анализа динамики атмосферы;
- изучение теоретических основ математического моделирования различных циркуляционных процессов;
- изучение основных принципов численного (гидродинамического) прогноза погоды.

Компетентностный подход предполагает овладение базовым набором знаний, умений и практических навыков, необходимых для понимания гидродинамических процессов в атмосфере и их практическому применению в профессиональной деятельности.

#### 1.2. Краткая характеристика дисциплины

«Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» является одной из дисциплин вариативной части блока Б1 по направлению подготовки 05.03.05 «Прикладная гидрометеорология», профиль «Прикладная метеорология».

**Предметом изучения** дисциплины являются законы гидродинамики и законы сохранения, широкий спектр дифференциальных уравнений описывающих гидродинамические процессы в атмосфере, овладение навыками решения подобных дифференциальных уравнений и представления моделей природных процессов.

## **2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

### **2.1. Требования к уровню освоения дисциплины**

Требованиями к уровню освоения дисциплины является достижение следующих результатов образования (РО):

#### **знать:**

- современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики (ОПК-1);
- основные принципы анализа и интерпретации данных натуральных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования (ОПК-3);
- основные принципы прогноза основных параметров атмосферы на основе проведенного анализа имеющейся информации (ПК-3);

#### **уметь:**

- представлять современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики (ОПК-1);
- анализировать и интерпретировать данные натуральных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования (ОПК-3);
- прогнозировать основные параметры атмосферы на основе проведенного анализа имеющейся информации (ПК-3);

#### **владеть:**

- способностью представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики (ОПК-1);
- навыками анализа и интерпретации данных натуральных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования (ОПК-3);
- способностью прогнозировать основные параметры атмосферы на основе проведенного анализа имеющейся информации (ПК-3);

В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие общепрофессиональные и профессиональные компетенции при освоении ОПОП ВО, реализующей ФГОС ВО по направлению подготовки 05.03.05 «Прикладная гидрометеорология», профиль «Прикладная метеорология».

#### **Общепрофессиональные**

**ОПК-1** - способностью представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики

**ОПК-3** - способностью анализировать и интерпретировать данные натуральных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования.

#### **Профессиональные**

**ПК-3** - способностью прогнозировать основные параметры атмосферы, океана и вод суши на основе проведенного анализа имеющейся информации;

### **2.2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

«Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» является одной из дисциплин вариативной части блока Б1 по направлению подготовки 05.03.05 «Прикладная гидрометеорология», профиль «Прикладная метеорология».

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: **знание** законов гидродинамики, законов сохранения, широкого спектра дифференциальных уравнений описывающих термодинамические и динамические процессы в атмосфере, **умение** решать подобные дифференциальные уравнения, **владение** навыками представления моделей природных процессов.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин «Физика», «Физика атмосферы», «Геофизическая гидродинамика», «Механика жидкости и газа (гидромеханика)», «Математика»

**3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

### **ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов. Контактная работа составляет 70 часов: 28 – лекции, 42 – лабораторные, самостоятельная работа студента – 110 часов.

№ модуля образовательной программы	№ раздела, темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Контроль	Всего часов
	1	Гидродинамический подход описания и прогноза атмосферных процессов.	8		6	22		36
	2	Интегрирование гидродинамических уравнений атмосферных процессов.	12		21	49		82
	3	Спектральные и специальные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы.	8		15	39		62
		Экзамен						
<b>ИТОГО:</b>			<b>28</b>	<b>-</b>	<b>42</b>	<b>110</b>		<b>180</b>

### **ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетные единицы, 180 часов. Контактная работа составляет 14 часов: 6 – лекции, 8 – лабораторные, самостоятельная работа студента – 168 часов.

№ модуля образовательной программы	№ раздела, темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Контроль

	1	Гидродинамический подход описания и прогноза атмосферных процессов.	1	-	56		57
	2	Интегрирование гидродинамических уравнений атмосферных процессов.	2	4	56		62
	3	Спектральные и специальные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы.	1	4	56		61
		Экзамен					
<b>ИТОГО:</b>			<b>4</b>	<b>-</b>	<b>8</b>	<b>168</b>	<b>180</b>

**4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**  
**ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ**

**4.1. Теоретический курс (ОПК-1, ОПК-3, ПК- 3)**

*Форма обучения - очная*

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Объем часов		Раздел, тема учебной дисциплины, содержание темы
		Лекции	СРС	
1	Раздел 1	4	8	<p><i>Тема 1.1. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды.</i></p> <p>Многомасштабность атмосферных процессов и их классификация. Погодообразующие процессы и метеорологические шумы. Замкнутая система уравнений гидротермодинамики атмосферы и её особенности.</p> <p>Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Гидростатическое, геострофическое и адиабатическое приближения. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали. Принципиальная схема гидродинамического прогноза.</p> <p>Классификация гидродинамических прогнозов по заблаговременности.</p> <p>Интегрирование диагностических уравнений моделей по вертикали.</p> <p>Системы координат по горизонтальным координатам – сферическая и декартова.</p> <p>Картографические проекции, используемые в атмосферных моделях. Масштабный множитель.</p> <p>Уравнения гидротермодинамики атмосферы в системе координат с произвольной вертикальной координатой. Системы координат по вертикали,</p>

				<p>используемые в гидродинамических моделях атмосферы (декартова, изобарическая, сигма, гибридная).</p> <p>Достоинства и недостатки различных систем координат (вертикальных и горизонтальных), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем.</p> <p>Сферическая система координат. Система уравнений в сферической системе координат. Коэффициенты Ламэ. Достоинства и недостатки применения сферической системе координат. Методы преодоления недостатков. Повернутая сферическая система координат.</p>
2		4	8	<p><i>Тема 1.2 Фильтрация модели атмосферы.</i></p> <p>Уравнение вихря скорости. Уравнение дивергенции. Уравнение вихря скорости в квазигеострофическом приближении. Баротропная квазигеострофическая модель атмосферы. Сеточный метод решения уравнения модели. Метод итераций. Начальные и граничные условия. Принципиальная схема прогноза поля геопотенциала на среднем уровне. Квазисоленоидальные модели. Вывод уравнения модели «мелкой воды». Уравнения модели «мелкой воды» в . системе координат. Принципиальная схема прогноза по уравнениям модели «мелкой воды». Начальные и граничные условия.</p>
3	Раздел 2	4	7	<p><i>Тема 2.1. Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.</i></p> <p>Интегральные инварианты гидродинамических моделей атмосферы: основные положения, ограничения, применение. Вывод интегральных инвариантов нелинейного уравнения адвекции. Консервативные схемы интегрирования уравнений. Вывод интегральных инвариантов модели «мелкой воды». Интегральные инварианты бароклинических моделей атмосферы в различных системах координат. Построение моделей, обладающих инвариантами. Бокс метод: вывод уравнений, достоинства, недостатки, граничные условия. Метод расщепления: основные положения, принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки, ограничения на использование. Реализация метода расщепления на примере уравнений модели «мелкой воды». Методы решения системы уравнений адвекции и адаптации. Начальные и граничные условия. Явные, неявные и полунявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.</p>

4		4	7	<p><i>Тема 2.2. Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных. Расшатанные сетки.</i>          Основы метода сеток. Дискретизация пространства и времени. Равномерные и неравномерные сетки. Конечно-разностные аналоги производных. Ошибка аппроксимации производных, порядок точности, вязкость, согласованность. Повышение порядка точности аппроксимации.          Расшатанные по пространству и по времени сетки. Классификация сеток по Аракаве. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Конечно-разностная аппроксимация полных уравнений на расшатанных сетках.          Вычислительная дисперсия.          Расшатанные сетки по времени и пространству. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Аппроксимация уравнений модели «мелкой воды» на расшатанных сетках.</p>
5		2	7	<p><i>Тема 2.3. Метод шагов по времени.</i>          Линейное уравнение адвекции. Точное решение уравнения адвекции. Принципиальная схема прогноза. Различные способы аппроксимации. Явные, полунявные и неявные схемы интегрирования уравнений модели. Уравнение Гельмгольца. Использование Лагранжева описания адвекции. Метод расщепления по физическим процессам. Прогностический алгоритм при помощи матричных операторов.          Явные, неявные, полунявные схемы интегрирования. Двухуровневые и трёхуровневые схемы интегрирования по времени. Одношаговые и многошаговые схемы интегрирования.          Схемы типа «предиктор-корректор».          Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования. Метод итераций. Метод прогонки. Физические и вычислительные начальные условия.          Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями</p>
6		2	7	<p><i>Тема 2.4. Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость</i>          Нелинейное уравнение адвекции. Особенности интегрирования. Нелинейное взаимодействие. Ошибки ложного представления.          Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы подавления и предотвращения нелинейной вычислительной неустойчивости. Фильтрация. Сглаживание.          Консервативные схемы.          Нелинейная вычислительная неустойчивость и</p>

				методы борьбы с ней.
7	Радел 3	4	8	<i>Тема 3.1. Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы</i> Спектральная форма уравнений гидродинамики атмосферы. Методы минимизации невязки. Базисные функции, используемые в атмосферных моделях. Сферические функции. Полиномы Лежандра. Метод коэффициентов взаимодействия. Спектрально-сеточное преобразование. Псевдоспектральный метод. Решение диагностических уравнений. Метод конечных элементов.
8		2	8	<i>Тема 3.2. Повышение порядка точности аппроксимации производных.</i> Конечно-разностные схемы высокого порядка точности. Повышение точности аппроксимации схем центральных разностей за счет привлечения дополнительных точек. Повышение порядка точности аппроксимации схем направленных разностей против потока. Устойчивость конечно-разностных схем высоких порядков точности. Диссипативные свойства конечно-разностных схем высоких порядков точности. Использование конечно-разностных аналогов с повышенным порядком точности. Расшатанные по вертикали сетки. Сетка Лоренца. Сетка Чарни. Аппроксимация сплайнами. Метод конечных элементов
9		2	8	<i>Тема 3.3. Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы.</i> Проблема описания неадиабатических процессов в гидродинамических моделях атмосферы. Параметризация физических процессов. Параметризация конвекции. Параметризация радиационных процессов. Параметризация турбулентности. Параметризация фазовых переходов. Гидрологический цикл. Модель океана. Совместные модели. Бесшовные модели.
<b>Итого:</b>		<b>14</b>	<b>68</b>	

#### 4.2. Практические занятия учебным планом не предусмотрены.

#### 4.3. Лабораторные работы (ОПК-1, ОПК-3, ПК- 3)

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Объем часов		Формы контроля	Тема лабораторного занятия
		Ауд	СРС		
1	Раздел 1	3	3	Отчет	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды

2		3	3	Отчет	Фильтрация модели атмосферы. Модель мелкой воды
3	<b>Раздел 2</b>	3	3	Отчет	Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.
4		3	3	Отчет	Расшатанные сетки.
5		3	3	Отчет	Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза
6		3	3	Отчет	Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.
7		3	3	Отчет	Метод шагов по времени. Схемы интегрирования по времени.
8		3	3	Отчет	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации
9		3	3	Отчет	Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью
10		<b>Раздел 3</b>	3	3	Отчет
11	3		3	Отчет	Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы
12	3		3	Отчет	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.
13	3		3	Отчет	Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы
14	3		3	Отчет	Подготовка начальных данных
	<b>ИТОГО:</b>	<b>42</b>	<b>42</b>		

### ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ (ОПК-1, ОПК-3, ПК-3)

Номер раздела, темы дисциплины	Объем часов			Раздел, тема учебной дисциплины, содержание темы
	Лекции	Лабораторные	СРС	
1	1		56	<p><b>Тема 1.1. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды.</b> Многомасштабность атмосферных процессов и их классификация. Погодообразующие процессы и метеорологические шумы. Замкнутая система уравнений гидротермодинамики атмосферы и её особенности.</p> <p>Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Гидростатическое, геострофическое и</p>

				<p>адиабатическое приближения. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали. Принципиальная схема гидродинамического прогноза. Классификация гидродинамических прогнозов по заблаговременности.</p> <p>Интегрирование диагностических уравнений моделей по вертикали.</p> <p>Системы координат по горизонтальным координатам – сферическая и декартова. Картографические проекции, используемые в атмосферных моделях.</p> <p>Масштабный множитель. Уравнения гидротермодинамики атмосферы в системе координат с произвольной вертикальной координатой. Системы координат по вертикали, используемые в гидродинамических моделях атмосферы (декартова, изобарическая, сигма, гибридная).</p> <p>Достоинства и недостатки различных систем координат (вертикальных и горизонтальных), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем.</p> <p>Сферическая система координат. Система уравнений в сферической системе координат. Коэффициенты Ламэ. Достоинства и недостатки применения сферической системе координат. Методы преодоления недостатков. Повернутая сферическая система координат.</p> <p><b>Тема 1.2 Фильтрование модели атмосферы.</b></p> <p>Уравнение вихря скорости. Уравнение дивергенции. Уравнение вихря скорости в квазигеострофическом приближении. Баротропная квазигеострофическая модель атмосферы.</p> <p>Сеточный метод решения уравнения модели. Метод итераций. Начальные и граничные условия.</p> <p>Принципиальная схема прогноза поля геопотенциала на среднем уровне. Квазисоленоидальные модели. Вывод уравнения модели «мелкой воды». Уравнения модели «мелкой воды» в . системе координат.</p> <p>Принципиальная схема прогноза по уравнениям модели «мелкой воды». Начальные и граничные условия</p>
2	2	4	56	<p><b>Тема 2.1. Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.</b></p> <p>Интегральные инварианты гидродинамических моделей атмосферы: основные положения, ограничения, применение. Вывод интегральных инвариантов нелинейного уравнения адвекции.</p> <p>Консервативные схемы интегрирования уравнений. Вывод интегральных инвариантов модели «мелкой воды». Интегральные инварианты бароклиных моделей атмосферы в различных системах координат.</p> <p>Построение моделей, обладающих инвариантами.</p>

			<p>Бокс метод: вывод уравнений, достоинства, недостатки, граничные условия.</p> <p>Метод расщепления: основные положения, принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки, ограничения на использование.</p> <p>Реализация метода расщепления на примере уравнений модели «мелкой воды». Методы решения системы уравнений адвекции и адаптации. Начальные и граничные условия. Явные, неявные и полунеявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.</p> <p><b>Тема 2.2. Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных Расшатанные сетки.</b></p> <p>Основы метода сеток. Дискретизация пространства и времени. Равномерные и неравномерные сетки. Конечно-разностные аналоги производных. Ошибка аппроксимации производных, порядок точности, вязкость, согласованность. Повышение порядка точности аппроксимации.</p> <p>Расшатанные по пространству и по времени сетки. Классификация сеток по Аракаве. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Конечно-разностная аппроксимация полных уравнений на расшатанных сетках. Вычислительная дисперсия.</p> <p>Расшатанные сетки по времени и пространству. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Аппроксимация уравнений модели «мелкой воды» на расшатанных сетках.</p> <p><b>Тема 2.3. Метод шагов по времени.</b></p> <p>Линейное уравнение адвекции. Точное решение уравнения адвекции. Принципиальная схема прогноза. Различные способы аппроксимации. Явные, полунеявные и неявные схемы интегрирования уравнений модели. Уравнение Гельмгольца. Использование Лагранжева описания адвекции. Метод расщепления по физическим процессам. Прогностический алгоритм при помощи матричных операторов.</p> <p>Явные, неявные, полунеявные схемы интегрирования. Двухуровневые и трёхуровневые схемы интегрирования по времени. Одношаговые и многошаговые схемы интегрирования.</p> <p>Схемы типа «предиктор-корректор». Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования. Метод итераций. Метод прогонки. Физические и вычислительные начальные условия. Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции</p>
--	--	--	---

				<p>конечными разностями</p> <p><b>Тема 2.4. Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость</b></p> <p>Нелинейное уравнение адвекции. Особенности интегрирования. Нелинейное взаимодействие. Ошибки ложного представления. Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы подавления и предотвращения нелинейной вычислительной неустойчивости. Фильтрация. Сглаживание. Консервативные схемы.</p> <p>Нелинейная вычислительная неустойчивость и методы борьбы с ней.</p> <p><b>Лабораторная работа № 2.1.</b> Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы</p> <p><b>Лабораторная работа № 2.2.</b> Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.</p>
3	1	4	56	<p><b>Тема 3.1. Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы</b></p> <p>Спектральная форма уравнений гидродинамики атмосферы. Методы минимизации невязки. Базисные функции, используемые в атмосферных моделях. Сферические функции. Полиномы Лежандра. Метод коэффициентов взаимодействия. Спектрально-сеточное преобразование. Псевдоспектральный метод. Решение диагностических уравнений. Метод конечных элементов.</p> <p><b>Тема 3.2. Повышение порядка точности аппроксимации производных.</b></p> <p>Конечно-разностные схемы высокого порядка точности. Повышение точности аппроксимации схем центральных разностей за счет привлечения дополнительных точек. Повышение порядка точности аппроксимации схем направленных разностей против потока. Устойчивость конечно-разностных схем высоких порядков точности. Диссипативные свойства конечно-разностных схем высоких порядков точности. Использование конечно-разностных аналогов с повышенным порядком точности. Расшатанные по вертикали сетки. Сетка Лоренца. Сетка Чарни. Аппроксимация сплайнами. Метод конечных элементов</p> <p><b>Тема 3.3. Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы.</b></p> <p>Проблема описания неадиабатических процессов в гидродинамических моделях атмосферы. Параметризация физических процессов. Параметризация конвекции. Параметризация радиационных процессов. Параметризация турбулентности. Параметризация фазовых переходов. Гидрологический цикл. Модель океана. Совместные модели. Бесшовные модели.</p>

				Лабораторная работа № 3.1. Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы Лабораторная работа № 3.2. Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.
<b>ИТОГО</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>96</b>	

4.4. Курсовые работы учебным планом не предусмотрены

4.5. Самостоятельная работа студента (ОПК-1, ОПК-3, ПК- 3)

#### ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Раздел, тема дисциплины	№ п/п	Вид СРС	Формы контроля	Трудоемкость, часов
1	1	Изучение тем теоретического курса. Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе). Подготовка к отчету по лабораторным занятиям.	Отчет по практическим занятиям, тестирование.	22
2	2	Изучение тем теоретического курса. Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе). Подготовка к отчету по лабораторным занятиям.	Отчет по практическим занятиям, тестирование	49
3	3	Изучение тем теоретического курса. Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе). Подготовка к отчету по лабораторным занятиям.	Отчет по практическим занятиям, тестирование	39
<b>Итого:</b>				<b>110</b>

#### ЗАОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ

Раздел, тема дисциплины	№ п/п	Вид СРС	Формы контроля	Трудоемкость, часов
1	1	Изучение тем теоретического курса. Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе). Подготовка к отчету практическим занятиям.	Отчет по практическим занятиям, тестирование.	56
2	2	Изучение тем теоретического курса. Проработка учебного материала (по конспектам, учебной и научной литературе). Подготовка к отчету практическим занятиям.	Отчет по практическим занятиям, тестирование.	56
3	3	Изучение тем теоретического курса. Проработка учебного материала (по	Отчет по практическим	56

		конспектам, учебной и научной литературе). Подготовка к отчету практическим занятиям.	занятиям, тестирование.	
			<b>Итого:</b>	<b>168</b>

### **Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов включают:

- Методические рекомендации по получению, обработке и хранению приобретенной информации
- Методические рекомендации по написанию и проработке конспекта
- Методические рекомендации по написанию реферата
- Методические рекомендации по подготовке к тестам
- Методические рекомендации по подготовке к лабораторным работам
- Методические рекомендации по подготовке доклада
- Методические рекомендации по подготовке к экзамену

#### **4.6. Рефераты (ОПК-1, ОПК-3, ПК- 3)**

1. Второе начало термодинамики и условия устойчивости атмосферы. Уравнение Клаузиуса-Клапейрона.
2. Гидродинамическая неустойчивость в атмосфере.
3. Закон Кирхгофа, закон Планка.
4. Закон смещения Вина, закон Стефана-Больцмана.
5. Излучение Солнца и Земли и его преобразование в различных спектральных областях.
6. Интегрирование уравнений переноса длинноволновой радиации в неизлучающей атмосфере, излучающей атмосфере.
7. Использование анализа размерностей для упрощения уравнений гидротермодинамики атмосферы.
8. Квазистатический процесс.
9. Общая формулировка уравнения баланса в интегральной и дивергентной форме.
10. Оптические свойства поверхностей.
11. Основные положения второго начала термодинамики. Совместная запись первого и второго начал термодинамики.
12. Основные формы энергии в атмосфере. Преобразование в атмосфере. Полная потенциальная энергия.
13. Основные характеристики влажного воздуха и соотношения между ними.
14. Основные характеристики радиации. Закон Ламберта – Буге.
15. Политропические процессы. Адиабатический процесс. Потенциальная температура.
16. Понятие турбулентности, критерий Рейнольдса, теоретический подход к проблеме возникновения турбулентности.
17. Связь между термодинамическими характеристиками при заданном притоке тепла.
18. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы для турбулентной атмосферы.
19. Структура пограничного слоя атмосферы. Уравнения движения для стационарного и горизонтального однородного пограничного слоя. Уравнение притока тепла и влаги.
20. Теория устойчивости ламинарных течений Ландау.
21. Термодинамические флуктуации, термодинамический смысл энтропии.
22. Уравнение первого начала термодинамики для идеальных газов (изопрцессы).

23. Уравнение переноса радиации

24. Уравнение преобразования полной потенциальной энергии и кинетической для всей атмосферы. Основной энергетический цикл атмосферы.

## 5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих **видов организации учебного процесса**:

**1. Лекции** - передача учебной информации от преподавателя к студентам, как правило с использованием компьютерных и технических средств, направленная в основном на приобретение студентами новых теоретических и фактических знаний (пункт 4.1. настоящей РПД).

**2. Лабораторные занятия** - это проведение учащимися по заданию преподавателя опытов с использованием приборов, инструментов и других технических приспособлений (пункт 4.3 настоящей РПД)

**3. Самостоятельная работа** – изучение студентами теоретического материала, подготовка к лекциям, лабораторным работам, практическим и семинарским занятиям, оформление конспектов лекций, написание рефератов, отчетов, курсовых работ, проектов, работа в электронной образовательной среде и др. (пункт 4.5 настоящей РПД)

**4. Консультация** - индивидуальное общение преподавателя со студентом, руководство его деятельностью с целью передачи опыта, углубления теоретических и фактических знаний, приобретенных студентом на лекциях, практических занятиях и в результате самостоятельной работы.

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих **видов образовательных технологий**:

**1. Информационные технологии** – обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам (теоретически к неограниченному объему и скорости доступа), увеличения контактного взаимодействия с преподавателем, построения индивидуальных траекторий подготовки и объективного контроля и мониторинга знаний студентов.

**2. Работа в команде** – совместная деятельность студентов в группе под руководством лидера, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды с делением полномочий и ответственности.

**3. Case-study** - анализ реальных проблемных ситуаций, имевших место в соответствующей области профессиональной деятельности, и поиск вариантов лучших решений.

**4. Игра** – ролевая имитация студентами реальной профессиональной деятельности с выполнением функций специалистов на различных рабочих местах.

**5. Проблемное обучение** – стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы.

## 6. Фонды оценочных средств: оценочные и методические материалы

### 6.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

**Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы (представлен в матрице компетенций ниже)**

**Матрица соотнесения тем/разделов учебной дисциплины/модуля и формируемых в них профессиональных и общекультурных компетенций как механизм выбора образовательных технологий и оценочных средств**

*Форма обучения - очная*

Темы, разделы дисциплины	Кол-во часов Л/ЛБ/СРС	Компетенции				$t_{\text{ср}}$
		ОПК-1	ОПК-3	ПК-3	Общее количество компетенций	
Раздел 1. Кинематика и динамика сжимаемой жидкости.	8/6/22	+	+	+	3	12
Раздел 2 Квазигеострофическая теория.	12/21/49	+	+	+	3	27,33
Раздел 3 Волновые движения в атмосфере.	8/15/39	+	+	+	3	20,67
<b>ИТОГО</b>	<b>14/28/66</b>					
Трудоемкость формирования компетенций		60	60	60		<b>180</b>

*Форма обучения – заочная*

Темы, разделы дисциплины	Кол-во часов Л/ЛБ/СРС	Компетенции				$t_{\text{ср}}$
		ОПК-1	ОПК-3	ПК-3	Общее количество компетенций	
Раздел 1. Кинематика и динамика сжимаемой жидкости.	1/-/56	+	+	+	3	19
Раздел 2 Квазигеострофическая теория.	2/4/56	+	+	+	3	20,67
Раздел 3 Волновые движения в атмосфере.	1/4/56	+	+	+	3	20,33
<b>ИТОГО</b>	<b>4/8/168</b>					
Трудоемкость формирования компетенций		60	60	60		<b>180</b>

#### **Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

Контроль освоения дисциплины студентов филиала РГГМУ в г. Туапсе производится в соответствии с Положением «О модульной системе обучения».

**Текущая аттестация** студентов производится в дискретные временные интервалы преподавателем по дисциплине в следующих формах:

- тестирование;
- лабораторные работы
- письменные домашние задания;

- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, своевременная сдача тестов и письменных домашних заданий.

Критерии пересчета результатов теста в баллы

Для всех контрольных мероприятий происходит пересчет рейтинга, в баллы по следующим критериям:

- рейтинг меньше 61% – 0 баллов,
- рейтинг 61-72 % – минимальный балл,
- рейтинг 73-85 % – средний балл
- рейтинг – 86-100% - максимальный балл

**Промежуточный контроль** по дисциплине «Динамическая метеорология» проходит в форме экзамена.

### Контроль и оценка результатов обучения при балльно - рейтинговой системе (БРС)

#### Форма обучения - очная

Показатели	Кол-во часов	Кол-во тестов, к/р	Баллы	ИТОГО
Входной рейтинг		1	10	10
Посещение в т.ч. лекции	<b>70</b> <b>28</b>		0,5	35
практические занятия	-			
лабораторные занятия	<b>42</b>			
Тесты по модулям		3	10	30
Семинары		-	-	-
Итоговый тест		1	25	25
<b>ИТОГО</b>				100

#### Форма обучения - заочная

Показатели	Кол-во часов	Кол-во тестов, к/р	Баллы	ИТОГО
Входной рейтинг		1	14	14
Посещение в т.ч. лекции	<b>14</b> <b>6</b>		2,0	28
практические занятия	<b>8</b>			
лабораторные занятия	-			
Тесты по модулям		3	12	36
Семинары		-	-	-
Итоговый тест		1	22	22
<b>ИТОГО</b>				100

### Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Показатели	61-72 % «удовлетворительно»	73-85% «хорошо»	86-100% «отлично»

**6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

## **Примерные контрольные вопросы и задания для текущей аттестации**

### **Примерные вопросы (ОПК-1, ОПК-3, ПК- 3)**

1. В чём суть дискретизации пространства и времени в задачах моделирования атмосферных процессов?
2. Что такое численные схемы?
3. Какие требования предъявляются к численным схемам?
4. Что такое аппроксимация?
5. Дать понятие сходимости конечно-разностной схемы?
6. Как определяется порядок аппроксимации конечно-разностной схемы?
7. В чём суть понятия согласованность?
8. В чём суть понятия сходимость?
9. Метод сеток: основные положения.
10. Конечно-разностные аналоги производных.
11. Ошибка аппроксимации производных.
12. Порядок точности аппроксимации производных.
13. Вычислительная вязкость.
14. Согласованность конечно-разностных схем.
15. Повышение порядка точности аппроксимации.
16. Линейное уравнение адвекции: принципиальная схема прогноза.
17. Явные и неявные схемы.
18. Двухуровневые и трёхуровневые схемы интегрирования по времени.
19. Одношаговые и многошаговые схемы интегрирования.
20. Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования.
21. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования.
22. Решение линейного уравнения адвекции аппроксимированного неявной схемой методом итераций.
23. Вычислительные моды.
24. Физические и вычислительные начальные условия.
25. Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования.
26. Анализ устойчивости двухуровневых схем методом Неймана.
27. Анализ устойчивости трехуровневых схем.
28. Анализ устойчивости неявных схем.
29. Сравнительный анализ устойчивости схем с использованием центральных и направленных разностей.
30. Сравнительный анализ устойчивости явных и неявных схем интегрирования.
31. Анализ устойчивости двухшаговых схем.
32. Фазовая и групповая скорости. Вычислительная дисперсия.
33. Уравнение колебания. Аппроксимация различными конечно-разностными схемами.
34. Уравнение колебания. Анализ устойчивости методом Неймана.
35. Уравнение колебания. Анализ изменения фазы колебания. Нелинейная вычислительная неустойчивость

## **Примерные вопросы и задания для промежуточной аттестации**

### **Перечень вопросов к экзамену (ОПК-1, ОПК-3, ПК- 3)**

1. Погодообразующие волновые процессы и метеорологические шумы.
2. Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали.
3. Гидростатическое, геострофическое и адиабатическое приближения.
4. Принципиальная схема гидродинамического прогноза.
5. Интегрирование диагностических уравнений по вертикали. Уравнение статики.
6. Интегрирование диагностических уравнений вертикали. Уравнение неразрывности.

7. Метод расщепления. Основные положения. Достоинства и недостатки.
8. Достоинства и недостатки различных систем координат (по вертикали), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем.
9. Достоинства и недостатки различных систем координат (горизонтальных), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем.
10. Метод сеток: основные положения.
11. Интегральные инварианты гидродинамических моделей атмосферы: основные положения, ограничения, применение.
12. Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расштанной по пространству сетке.
13. Полуявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.
14. Явные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.
15. Неявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.
16. Расштаные по пространству сетки.
17. Интегрирование уравнений с использованием Лагранжевых переменных.
18. Анализ дисперсионных свойств уравнений адаптации модели мелкой воды.
19. Проблемы, возникающие при интегрировании уравнения переноса массовой доли водяного пара, и методы их решения.
20. Конечно-разностные аналоги производных.
21. Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования.
22. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования.
23. Конечно-разностная аппроксимация полных уравнений на расштанной по пространству сетке.
24. Бокс метод.
25. Вложенные сетки.
26. Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования
27. Постановка граничных условий при интегрировании уравнений гидротермодинамики атмосферы на ограниченной территории.
28. Учет неадиабатичности атмосферных процессов в гидродинамических моделях атмосферы
29. Параметризация физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы. Основные понятия, процессы, подлежащие параметризации.
30. Параметризации конвекции в гидродинамических моделях атмосферы. Основные положения, классификация методов параметризации.
31. Ансамблевый прогноз.
32. Представление полей метеорологических величин при помощи рядов.
33. Базисные функции, используемые в атмосферных спектральных моделях.
34. Сферические функции. Свойства, достоинства, недостатки.
35. Сферические функции. Усечение бесконечных рядов.
36. Сферические функции. Разложение в ряд по сферическим функциям.
37. Разложение в ряд по тригонометрическим функциям.
38. Вычисление коэффициентов разложения в ряд по тригонометрическим функциям.
39. Вычисление коэффициентов разложения в ряд по сферическим функциям.
40. Решение линейного уравнения адвекции спектральным методом.
41. Минимизация невязки. Метод Галёркина.
42. Минимизация невязки. Метод коллокации.
43. Минимизация невязки. Метод наименьших квадратов.
44. Получение определяющей системы уравнений при решении спектральным методом линейного уравнения адвекции.

### Примерные тесты (ОПК-1, ОПК-3, ПК-3)

1. Какой из перечисленных конечно-разностных аналогов производной обладает наивысшим порядком точности?
  - а) направленные разности вперёд
  - б) направленные разности назад
  - в) центральные разности
  - г) несимметричные разности
  
2. Что такое дискретное пространство?
  - а) Это физическое пространство, в котором задана совокупность точек
  - б) Это пространство, разделённое на отрезки неопределённой длины
  - в) Это фазовое пространство
  - г) Это пространство, в котором производят синоптическое наблюдения на станциях
  
3. Для среднесрочного прогноза погоды необходимо использовать:
  - а) глобальные модели;
  - б) мезомасштабные модели;
  - в) региональные модели;
  
4. Для краткосрочного прогноза погоды необходимо использовать:
  - а) глобальные модели;
  - б) мезомасштабные модели;
  - в) региональные модели;
  
5. Ось OX стандартной декартовой системы координат направлена:
  - а) на запад;
  - б) на восток;
  - в) на север;
  - г) на юг;
  - д) вертикально вверх.
  
6. Ось OZ стандартной декартовой системы координат направлена:
  - а) на запад;
  - б) на восток;
  - в) на север;
  - г) на юг;
  - д) вертикально вверх.
  
7. Число уравнений в системе уравнений гидротермодинамики атмосферы равно:
  - а) двум;
  - б) трем;
  - в) четырем;
  - г) шести;
  - д) семи.
  
8. Формулы Френе описывают:
  - а) производные компонент ускорения Кориолиса в сферической системе координат;
  - б) производные компонент скорости в сферической системе координат;
  - в) производные компонент ускорения в сферической системе координат;
  - г) производные ортов сферической системы координат;

9. Вектор горизонтальной скорости в общепринятых обозначениях имеет координаты:
- а)  $u$  и  $w$ ;
  - б)  $v$  и  $w$ ;
  - в)  $x$ ,  $y$  и  $z$ ;
  - г)  $u$  и  $v$ ;
10. Значение вертикальной переменной  $\sigma$  на земной поверхности равно:
- а) 0;
  - б) 1;
  - в) 0.5;
  - г) 2;
11. Значение вертикальной скорости  $\sigma$  на земной поверхности равно:
- а) 0;
  - б) 1;
  - в) 0.5;
  - г) 2;
12. Порядок аппроксимации производной разностью направленной вперед равен:
- а) 0;
  - б) 1;
  - в) 0.5;
  - г) 2;

### **6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

#### **Критерии оценки знаний студентов на экзамене**

Оценки **«отлично»** заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала. Студент *подтвердил своими ответами сформированность компетенций, предусмотренных ФГОС (высокий уровень)*.

Оценки **«хорошо»** заслуживает студент обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Студент *подтвердил своими ответами сформированность компетенций, предусмотренных ФГОС, на достаточном уровне*.

Оценки **«удовлетворительно»** заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. Студент *показывает частичную (на среднем уровне) сформированность компетенций, предусмотренных ФГОС*.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в

выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. *Студент демонстрирует несформированность (низкий уровень) у выпускника соответствующих компетенций, предусмотренных ФГОС.*

### **Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

По дисциплине «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» рабочим учебным планом предусмотрены следующие виды учебных занятий: лекции, лабораторные, самостоятельная работа студентов.

Лабораторные занятия являются логическим продолжением изучения той или иной темы дисциплины. Поэтому при подготовке к ним важно повторить теоретический материал по теме занятия, используя материалы лекций, рекомендуемые учебники и учебные пособия, электронные ресурсы. Без такой целенаправленной самостоятельной работы студентам затруднительно выполнять лабораторные задания, решать ситуационные задачи, ориентированных на применение полученных знаний в профессиональной деятельности.

Непременным условием успешной учебной деятельности студентов является не только активная работа в аудитории, но и целенаправленная самостоятельная работа, предусмотренная учебным планом. Она призвана способствовать более глубокому усвоению изучаемой дисциплины, формировать навыки информационно-эвристической и аналитической работы, а также ориентировать студентов на умение применять теоретические знания на практике. В ходе самостоятельной работы студентам важно выработать навыки самостоятельного поиска источников информации, умелого их использования при доработке конспектов лекций, подготовке к лабораторным занятиям и постепенно перейти от деятельности, выполняемой под руководством преподавателя, к деятельности, организуемой самостоятельно, к полной замене контроля со стороны преподавателя самоконтролем.

Самостоятельная работа студентов должна носить систематический характер.

Проработка учебного материала после проведенных лекционных занятий осуществляется по конспектам лекций с привлечением учебной и научной литературы, методических и нормативных документов и электронных ресурсов в соответствии со списком рекомендованной литературы к каждой изучаемой теме.

Первый шаг в самостоятельной работе студентов: после лекционного занятия в этот же день изучить конспект лекции и осмыслить прочитанное, выделить места, вызывающие дополнительные вопросы. Затем, обратившись к перечню рекомендованной, основной и дополнительной литературы по данной теме, дополнить конспект лекции, сделать необходимые выписки из методических и нормативных документов; с помощью опорных конспектов разобраться в примерах, приведенных в учебниках. В результате такой работы должно сложиться понимание основных вопросов темы.

Правильно и своевременно выполненная самостоятельная работа способствует развитию рациональных приемов познавательной деятельности в процессе изучения дисциплины «Динамическая метеорология». В последующем, на лабораторных занятиях, происходит углубление и расширение знаний, полученных на лекциях и в процессе самостоятельной работы, выясняются и все неясные вопросы. Самостоятельная работа не ограничивается только подготовкой к лабораторным занятиям. Она может продолжаться и в после их проведения. В этом случае она нацелена на более глубокое освоение учебной дисциплины «Динамическая метеорология» сверх учебной программы.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **7.1. Перечень рекомендуемой литературы**

#### **Основная литература:**

1. Динамическая метеорология для океанологов : учебное пособие / В.М. Радикевич – Л., изд. ЛПИ, 1985. – 157 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213174722.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213174722.pdf)].
2. Динамическая метеорология : учебное пособие / И.И. Мельникова, В.М. Радикевич. – Л.: изд. ЛПИ, 1974. – 168 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-218124340.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-218124340.pdf)].
3. Практикум по курсу «Динамическая метеорология» :учебное пособие / И.Ю. Мелкая. – Л.: изд. ЛПИ, 1980. – 89 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-218134645.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-218134645.pdf)].
4. Бахвалов, Н. С. Численные методы / Н. С. Бахвалов, Н. П.Жидков,Г. М. Кобельков. - 7-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 636 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=365807>]

#### **Дополнительная литература:**

1. Динамическая метеорология: практикум: учеб. пособие / Н.А. Калинин, Е.М. Связов; Пермский государственный национальный исследовательский университет (Пермь), 2017. – 80 с. [Электронный ресурс; Режим доступа [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_30706554\\_70266549.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_30706554_70266549.pdf)].
2. Задачник по динамической метеорологии : учебное пособие / А.С. Гаврилов и др. – Л., Гидрометеиздат, 1984. – 166 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213163549.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213163549.pdf)]
3. Теоретические основы геофизической гидродинамики / А.С. Монин. - Л., Гидрометеиздат, 1988. – 425 с. - [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-0905110.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-0905110.pdf)]
4. Репинская Р. П. , Анискина О. Г. Конечно-разностные методы в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов. - СПб.:РГГМИ, 2001/ [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-213172857.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-213172857.pdf)]
5. Белов Н. П., Борисенков Е. П., Панин Б. Д.. Численные методы прогноза погоды. - Л.: Гидрометеиздат, 1989.- [Электронный ресурс; Режим доступа [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-090589.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090589.pdf)]

#### **7.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

##### **Интернет-ресурсы:**

1. <http://www.meteorf.ru/> - Сайт Росгидромета
2. <https://meteoinfo.ru/> - Погода и подробный прогноз от Росгидромета.

##### **Электронные библиотечные ресурсы:**

1. Электронно-библиотечная система РГГМУ ГидроМетеоОнлайн- <http://elib.rshu.ru/>
2. Информация электронной библиотечной системы <http://znanium.com/>
3. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>
4. Издательство ЮРАЙТ <https://biblio-online.ru/>

#### **7.3. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

##### **Программное обеспечение:**

1. Операционная система Windows XP, Microsoft Office 2007
2. Программы электронных таблиц Excel

3. Текстовый редактор Word
4. Программа для создания презентаций Power Point
5. Программа распознавания текста FineReader

#### **Информационные справочные системы:**

1. Консультант Плюс.

#### **8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Лекционные аудитории оборудованы видеопроекционным оборудованием для презентаций, средствами звуковоспроизведения, экраном, персональным компьютером с выходом в сеть Интернет; помещения для проведения семинарских и практических занятий оборудованы учебной мебелью; библиотека имеет рабочие места для студентов; компьютерные классы оснащены видеопроекционным оборудованием, средствами звуковоспроизведения, экраном, персональными компьютерами с выходом в сеть Интернет.

#### **9. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

**Аннотация рабочей программы  
«Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов»**

Дисциплина «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» является одной из вариативных дисциплин блока 1 рабочего учебного плана бакалавров по направлению подготовки по направлению подготовки 05.03.05 «Прикладная гидрометеорология», профиль «Прикладная метеорология». Дисциплина реализуется в филиале ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе, кафедрой «Метеорологии, экологии и экономического обеспечения деятельности предприятий природопользования».

Дисциплина нацелена на формирование общепрофессиональных ОПК-1, ОПК-3, профессиональных ПК-3 компетенций выпускника.

**Содержание дисциплины.**

**Система уравнений гидротермодинамики атмосферы. Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды.** Многомасштабность атмосферных процессов и их классификация. Погодообразующие процессы и метеорологические шумы. Замкнутая система уравнений гидротермодинамики атмосферы и её особенности. Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Гидростатическое, геострофическое и адиабатическое приближения. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали. Принципиальная схема гидродинамического прогноза. Классификация гидродинамических прогнозов по заблаговременности. Интегрирование диагностических уравнений моделей по вертикали. Системы координат по горизонтальным координатам – сферическая и декартова. Картографические проекции, используемые в атмосферных моделях. Масштабный множитель. Уравнения гидротермодинамики атмосферы в системе координат с произвольной вертикальной координатой. Системы координат по вертикали, используемые в гидродинамических моделях атмосферы (декартова, изобарическая, сигма, гибридная). Достоинства и недостатки различных систем координат (вертикальных и горизонтальных), их сравнительный анализ. Преодоление недостатков различных координатных систем. Сферическая система координат. Система уравнений в сферической системе координат. Коэффициенты Ламэ. Достоинства и недостатки применения сферической системе координат. Методы преодоления недостатков. Повернутая сферическая система координат.

**Фильтрация модели атмосферы.** Уравнение вихря скорости. Уравнение дивергенции. Уравнение вихря скорости в квазигеострофическом приближении. Баротропная квазигеострофическая модель атмосферы. Сеточный метод решения уравнения модели. Метод итераций. Начальные и граничные условия. Принципиальная схема прогноза поля геопотенциала на среднем уровне. Квазисоленоидальные модели. Вывод уравнения модели «мелкой воды». Уравнения модели «мелкой воды» в . системе координат. Принципиальная схема прогноза по уравнениям модели «мелкой воды». Начальные и граничные условия

**Методы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.** Интегральные инварианты гидродинамических моделей атмосферы: основные положения, ограничения, применение. Вывод интегральных инвариантов нелинейного уравнения адвекции. Консервативные схемы интегрирования уравнений. Вывод интегральных инвариантов модели «мелкой воды». Интегральные инварианты бароклинических моделей атмосферы в различных системах координат. Построение моделей, обладающих инвариантами. Бокс метод: вывод уравнений, достоинства, недостатки, граничные условия. Метод расщепления: основные положения, принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки, ограничения на использование. Реализация метода расщепления на примере уравнений модели «мелкой воды». Методы решения системы уравнений адвекции и адаптации. Начальные и граничные условия. Явные, неявные и полунявные схемы интегрирования уравнений гидродинамических моделей атмосферы: принципиальная схема прогноза, достоинства, недостатки.

**Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных. Расшатаанные сетки.** Основы метода сеток. Дискретизация пространства и времени. Равномерные и неравномерные

сетки. Конечно-разностные аналоги производных. Ошибка аппроксимации производных, порядок точности, вязкость, согласованность. Повышение порядка точности аппроксимации. Расшатанные по пространству и по времени сетки. Классификация сеток по Аракаве. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Конечно-разностная аппроксимация полных уравнений на расшатанных сетках. Вычислительная дисперсия. Расшатанные сетки по времени и пространству. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Аппроксимация уравнений модели «мелкой воды» на расшатанных сетках.

**Метод шагов по времени.** Линейное уравнение адвекции. Точное решение уравнения адвекции. Принципиальная схема прогноза. Различные способы аппроксимации. Явные, полунеявные и неявные схемы интегрирования уравнений модели. Уравнение Гельмгольца. Использование Лагранжева описания адвекции. Метод расщепления по физическим процессам. Прогностический алгоритм при помощи матричных операторов. Явные, неявные, полунеявные схемы интегрирования. Двухуровневые и трёхуровневые схемы интегрирования по времени. Одношаговые и многошаговые схемы интегрирования. Схемы типа «предиктор-корректор». Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования. Метод итераций. Метод прогонки. Физические и вычислительные начальные условия. Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями

**Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость.** Нелинейное уравнение адвекции. Особенности интегрирования. Нелинейное взаимодействие. Ошибки ложного представления. Нелинейная вычислительная неустойчивость. Методы подавления и предотвращения нелинейной вычислительной неустойчивости. Фильтрация. Сглаживание. Консервативные схемы. Нелинейная вычислительная неустойчивость и методы борьбы с ней.

**Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы.** Спектральная форма уравнений гидродинамики атмосферы. Методы минимизации невязки. Базисные функции, используемые в атмосферных моделях. Сферические функции. Полиномы Лежандра. Метод коэффициентов взаимодействия. Спектрально-сеточное преобразование. Псевдоспектральный метод. Решение диагностических уравнений. Метод конечных элементов.

**Повышение порядка точности аппроксимации производных.** Конечно-разностные схемы высокого порядка точности. Повышение точности аппроксимации схем центральных разностей за счет привлечения дополнительных точек. Повышение порядка точности аппроксимации схем направленных разностей против потока. Устойчивость конечно-разностных схем высоких порядков точности. Диссипативные свойства конечно-разностных схем высоких порядков точности. Использование конечно-разностных аналогов с повышенным порядком точности. Расшатанные по вертикали сетки. Сетка Лоренца. Сетка Чарни. Аппроксимация сплайнами. Метод конечных элементов

**Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы.** Проблема описания неадиабатических процессов в гидродинамических моделях атмосферы. Параметризация физических процессов. Параметризация конвекции. Параметризация радиационных процессов. Параметризация турбулентности. Параметризация фазовых переходов. Гидрологический цикл. Модель океана. Совместные модели. Бесшовные модели.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные занятия, самостоятельная работа студента, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме тестирования, контрольных работ и промежуточный контроль в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.