

федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа по дисциплине
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования программы бакалавриата по направлению
подготовки

05.03.04 «Гидрометеорология»

Направленность (профиль):
Гидрометеорология

Квалификация:
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Согласовано
Руководитель ОПОП
«Гидрометеорология»


Абанников В.Н.

Утверждаю
Председатель УМС  И.И. Палкин

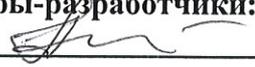
Рекомендована решением
Учебно-методического совета

19 июня 2018 г., протокол № 4

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

20 февраля 2018 г., протокол № 7
Зав. кафедрой  Дробжева Я.В.

Авторы-разработчики:


Анискина О.Г.

Санкт-Петербург 2018

Рекомендована Учёным советом метеорологического факультета РГГМУ
(Протокол № от « » _____ 2018 г.)

Составил: Анискина О.Г. – доцент кафедры метеорологических прогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета.

Рецензент: Кузьмина С.И. - канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник международного центра по дистанционному зондированию и мониторингу окружающей среды им. Ф.Нансена («Нансен-Центр»).

© О.Г. Анискина, 2018
© РГГМУ, 2018

1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины «Численные методы математического моделирования» - подготовка бакалавров по направлению Гидрометеорология, владеющих знаниями в объёме, необходимом для глубокого понимания принципов построения и функционирования гидродинамических моделей атмосферы, способных создавать гидродинамические модели атмосферных процессов и грамотно использовать результаты моделирования.

Основные задачи дисциплины «Численные методы математического моделирования» связаны с освоением:

- физических основ построения гидродинамических моделей атмосферы,
- теоретических принципов разработки и функционирования гидродинамических моделей атмосферы,
- численных методов решения уравнений гидродинамики атмосферы,
- основ применения результатов гидродинамического моделирования при составлении оперативных прогнозов погоды.

Дисциплина изучается всеми студентами, обучающимися по программе подготовки академического бакалавра на метеорологическом факультете.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Численные методы математического моделирования» для направления подготовки 05.03.04 – Гидрометеорология относится к дисциплинам базовой части общепрофессионального цикла.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Физика», «Информатика», «Вычислительная математика», «Математика (теория вероятности и статистика)», «Динамическая метеорология», «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации», «Геофизика», «Иностранный язык».

Параллельно с дисциплиной «Численные методы математического моделирования» изучаются: «Вихревая динамика», «Ассимиляция гидродинамических данных».

Знания, полученные в результате изучения дисциплины «Численные методы математического моделирования», могут быть использованы при подготовке выпускной квалификационной работы бакалавра. Данная дисциплина является базовой для освоения дисциплин, изучаемых магистрами.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций.

Код компетенции	Компетенция
ОПК-1	Способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики.
ОПК-5	Готовность к освоению новой техники, новых методов и новых технологий.
ОПК-6	Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности
ПК-2	Способность понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в гидрометеорологии при составлении разделов научно-технических отчетов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований
ППК-1	Умение решать, реализовывать на практике и анализировать решения гидрометеорологических задач.

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Численные методы математического моделирования» обучающийся должен:

Знать:

- физическую и математическую постановку задачи гидродинамического прогноза погоды на основе уравнений гидротермодинамики атмосферы;
- системы координат, используемые в гидродинамическом моделировании;
- методы аппроксимации уравнений с помощью конечных разностей ;
- методы анализа конечно-разностных схем;
- способы борьбы с вычислительными ошибками, возникающими при интегрировании уравнений гидротермодинамики атмосферы численными методами;
- численные методы интегрирования уравнений прогностических моделей.

Уметь:

- разрабатывать алгоритмы гидродинамического прогноза погоды;
- аппроксимировать уравнения в частных производных конечными разностями;
- анализировать ошибки конечно-разностных схем;
- осмысленно использовать результаты гидродинамического прогноза погоды в синоптической практике.

Владеть:

- методикой построение гидродинамических моделей атмосферы в целом и отдельных атмосферных процессов и явлений;
- методикой обработки результатов гидродинамического моделирования;
- методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.

Основные признаки освоения формируемых компетенций в результате освоения дисциплины «Численные методы математического моделирования» сведены в таблице.

Соответствие уровней освоения компетенцией планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Основные признаки освоения компетенцией (описание уровня)				
	1.	2.	3.	4.	5.
минимальный	не владеет	слабо ориентируется в терминологии и содержании	Способен выделить основные идеи текста, работает с критической литературой	Владеет основными навыками работы с источниками и критической литературой	Способен дать собственную критическую оценку изучаемого материала
	не умеет	не выделяет основные идеи	Способен показать основную идею в развитии	Способен представить ключевую проблему в ее связи с другими процессами	Может соотнести основные идеи с современными проблемами
	не знает	допускает грубые ошибки	Знает основные рабочие категории, однако не ориентируется в их специфике	Понимает специфику основных рабочих категорий	Способен выделить характерный авторский подход
базовый	не владеет	плохо ориентируется в терминологии и содержании	Владеет приемами поиска и систематизации, но не способен свободно изложить материал	Свободно излагает материал, однако не демонстрирует навыков сравнения основных идей и концепций	Способен сравнивать концепции, аргументированно излагает материал
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит проблем	Выделяет конкретную проблему, однако излишне упрощает ее	Способен выделить и сравнить концепции, но испытывает сложности с их практической привязкой	Аргументированно проводит сравнение концепций по заданной проблематике
	не знает	допускает много ошибок	Может изложить основные рабочие категории	Знает основные отличия концепций в заданной проблемной области	Способен выделить специфику концепций в заданной проблемной области
продвинутый	не владеет	ориентируется в терминологии и содержании	В общих чертах понимает основную идею, однако плохо связывает ее с существующей проблематикой	Видит источники современных проблем в заданной области анализа, владеет подходами к их решению	Способен грамотно обосновать собственную позицию относительно решения современных проблем в заданной области
	не умеет	выделяет основные идеи, но не видит их в развитии	Может понять практическое назначение основной идеи, но затрудняется выявить ее основания	Выявляет основания заданной области анализа, понимает ее практическую ценность, однако испытывает затруднения в описании сложных объектов анализа	Свободно ориентируется в заданной области анализа. Понимает ее основания и умеет выделить практическое значение заданной области
	не знает	допускает ошибки при выделении рабочей области анализа	Способен изложить основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа	Знает основное содержание современных научных идей в рабочей области анализа, способен их сопоставить	Может дать критический анализ современным проблемам в заданной области анализа

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	
	2016, 2017, 2018 года набора	2015 год набора
Общая трудоёмкость дисциплины	180	
Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	102	108
в том числе:		
лекции	28	30
практические занятия	16	16
лабораторные занятия	58	62
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	78	72
в том числе:		
курсовая работа	-	-
контрольная работа	-	-
Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	Зачет, экзамен	

4.1. Содержание разделов дисциплины

Очное обучение

2016, 2017, 2018 года набора

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и ин-терактивной форме, час	Формируемые компетен-ции
			Лекции	Практические, лабор. занятия и (или) семинары	Самостоятель-ная работа			
1	Система уравнений гидро-термодинамики атмосферы	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1

2	Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-3 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
3	Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы.	7	1	2	1	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
4	Фильтрация модели атмосферы	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
5	Модель мелкой воды	7	1	2	1	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
6	Инварианты гидродинамических моделей атмосферы. Бокс метод.	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
7	Метод расщепления. Методы (явные, неявные и полунявные) интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
8	Распатанные сетки. Дисперсионные свойства.	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
9	Анализ устойчивости и дисперсионных свойств уравнений адаптации.	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
10	Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью.	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
11	Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
12	Метод сеток. Конечно-разностные аналоги произ-	7	1	4	1	Вопросы на лекции, вопросы по практи-	2	ОПК-1 ОПК-5

	водных.					ческой работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе		ПК-2 ППК-1 ОКП-6
13	Повышение порядка точности аппроксимации производных.	7	0	4	0	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-1 ОКП-6
14	Метод шагов по времени.	7	1	2	1	Опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	4	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
15	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями.	7	0	4	2	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
16	Схемы интегрирования по времени.	7	0	2	4	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
17	Устойчивость конечно-разностных схем.	7	0	4	2	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
18	Анализ дисперсионных свойств	7	0	4	2	перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
19	Уравнения колебаний, трения. Конечно-разностная аппроксимация и анализ. Анализ изменения фазы решения.	7	0	4	1	Вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
20	Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчи-	7	1	4	5	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, от-	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2

	вость.					чёт по лабораторной работе		ППК-1 ОКП-6
21	Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расшатанных и нерасшатанных сетках.	7	0	4	4	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
22	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы в сферической системе координат	8	2	0	1	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
23	Постановка задачи локального гидродинамического прогноза погоды.	8	2	3	1	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
24	Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы	8	6	3	1	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
25	Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы	8	1	4	1	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
26	Различные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы по времени (на примере уравнений модели «мелкой воды»)	8	0	3	1	Вопросы на лабораторных работах, отчёт о лабораторной работе	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
27	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.	8	1	3	1	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
28	Дисперсионные свойства конечно-разностных схем	8	1	4	1	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
29	Исследование чувствитель-	8	1	4	2	Вопросы на лекции,		ОПК-1

	ности гидродинамических моделей атмосферы					вопросы на лабораторных работах		ОПК-5 ПК-2 ППК-1
	Итого		28	74	51		30	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче зачета, экзамена (27 часов)						180		

2015 год набора

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов			Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и ин-терактивной форме, час	Формируемые компетенции
			Лекции	Практические, лабор. занятия и (или) семинары	Самостоятельная работа			
1	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
2	Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОК-3 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
3	Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы.	7	1	2	1	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
4	Фильтрация модели атмосферы	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
5	Модель мелкой воды	7	1	2	1	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
6	Инварианты гидродинамических моделей атмосферы. Бокс метод.	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
7	Метод расщепления. Мето-	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1

	ды (явные, неявные и полунявные) интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.							ОПК-5 ПК-2 ППК-1
8	Расшатанные сетки. Дисперсионные свойства.	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
9	Анализ устойчивости и дисперсионных свойств уравнений адаптации.	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
10	Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью.	7	1	2	2	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос.	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
11	Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза	7	1	0	2	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
12	Метод сеток. Конечноразностные аналоги производных.	7	1	4	1	Вопросы на лекции, вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
13	Повышение порядка точности аппроксимации производных.	7	0	4	0	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-1 ОКП-6
14	Метод шагов по времени.	7	1	2	1	Опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	4	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
15	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями.	7	0	4	2	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
16	Схемы интегрирования по	7	0	2	4	Письменный опрос,	2	ОПК-1

	времени.					опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе		ОПК-5 ПК-2 ППК-1
17	Устойчивость конечно-разностных схем.	7	0	4	2	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
18	Анализ дисперсионных свойств	7	0	4	2	перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
19	Уравнения колебаний, трения. Конечно-разностная аппроксимация и анализ. Анализ изменения фазы решения.	7	0	4	1	Вопросы по практической работе, письменный опрос.	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
20	Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость.	7	1	4	5	Письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
21	Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расшатанных и нерасшатанных сетках.	7	1	4	4	Вопросы по практической работе, письменный опрос, опрос перед лабораторной работой, отчёт по лабораторной работе	2	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
22	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы в сферической системе координат	8	2	4	0	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
23	Постановка задачи локального гидродинамического прогноза погоды.	8	2	4	0	Вопросы на лекции	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
24	Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы	8	6	4	1	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2

								ППК-1 ОКП-6
25	Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы	8	1	4	1	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
26	Различные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы по времени (на примере уравнений модели «мелкой воды»)	8	1	2	0	Вопросы на лабораторных работах, отчёт о лабораторной работе	1	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
27	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.	8	1	4	0	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
28	Дисперсионные свойства конечно-разностных схем	8	1	4	0	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах	0	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
29	Исследование чувствительности гидродинамических моделей атмосферы	8	1	2	1	Вопросы на лекции, вопросы на лабораторных работах		ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
	Итого		30	78	45		30	
С учетом трудозатрат при подготовке и сдаче зачета, экзамена (27 часов)					180			

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2.1 Система уравнений гидротермодинамики атмосферы

Роль гидродинамического моделирования атмосферных процессов для народного хозяйства. История возникновения и развития гидродинамических прогнозов погоды. Место гидродинамических прогнозов в оперативной метеорологической службе. Гидродинамическое прогнозирование в России и за рубежом. Перспективы гидродинамических прогнозов погоды.

Предмет и задачи дисциплины. История развития гидродинамических методов прогноза погоды. Многочасовая масштабность атмосферных процессов и их классификация. Погодообразующие процессы и метеорологические шумы.

Замкнутая система уравнений гидротермодинамики атмосферы и её особенности.

4.2.2 Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды

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.

4.2.3 Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы

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.

4.2.4 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.

4.2.5 Модель «мелкой воды»

Вывод уравнения модели «мелкой воды». Уравнения модели «мелкой воды» в σ системе координат. Принципиальная схема прогноза по уравнениям модели «мелкой воды». Начальные и граничные условия.

4.2.6 Инварианты гидродинамических моделей атмосферы. Бокс метод

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 бароклиных моделей атмосферы в различных системах координат. Построение моделей, обладающих инвариантами. Бокс метод: вывод уравнений, достоинства, недостатки, граничные условия.

4.2.7 Метод расщепления. Методы (явные, неявные и полунявные) интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы.

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.

4.2.8 Расшатанные сетки. Дисперсионные свойства

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.

4.2.9 Анализ устойчивости и дисперсионных свойств уравнений адаптации

Анализ устойчивости и дисперсионных свойств конечно-разностных схем, аппроксимирующих уравнения модели «мелкой воды» на расшатанных сетках. Сравнительный анализ точности описания скоростей на различных сетках.

4.2.10 Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью

Нелинейная вычислительная неустойчивость и методы борьбы с ней.

4.2.11 Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза

Особенности гидродинамического прогноза на ограниченной территории. Постановка граничных условий. Телескопизация.

4.2.12 Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных

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.

4.2.13 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.

4.2.14 Метод шагов по времени

Линейное уравнение адвекции. Точное решение уравнения адвекции. Принципиальная схема прогноза. Различные способы аппроксимации.

4.2.15 Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями

Анализ ошибки аппроксимации, порядка точности, вычислительной вязкости, согласованности конечно-разностных схем на примере линейного уравнения адвекции.

4.2.16 Схемы интегрирования по времени

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.

4.2.17 Устойчивость конечно-разностных схем

Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования. Методы анализа устойчивости. Прямой метод. Энергетический метод. Метод Неймана. Анализ устойчивости двухуровневых и трехуровневых схем. Анализ устойчивости явных и неявных схем. Сравнительный анализ устойчивости схем с использованием центральных и направленных разностей. Сравнительный анализ

устойчивости явных и неявных схем интегрирования. Анализ устойчивости двухшаговых схем.

4.2.18 Анализ дисперсионных свойств

Фазовая и групповая скорости. Вычислительная дисперсия. Анализ искажения скоростей при аппроксимации уравнения адвекции различными конечно-разностными схемами.

4.2.19 Уравнения колебаний, трения. Конечно-разностная аппроксимация и анализ. Анализ изменения фазы решения.

Уравнение колебания. Уравнение трения. Точное решение. Аппроксимация различными конечно-разностными схемами. Анализ устойчивости методом Неймана. Анализ изменения фазы колебания.

4.2.20 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.

4.2.21 Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расштатанных и нерасштатанных сетках

Расштатанные сетки по времени и пространству. Стандартные операторы дифференцирования и сглаживания. Аппроксимация уравнений модели «мелкой воды» на расштатанных сетках.

4.2.22 Система уравнений гидротермодинамики атмосферы в сферической системе координат

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.

4.2.23 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.

4.2.24 Постановка задачи регионального гидродинамического прогноза погоды

Особенности регионального прогноза погоды. Проблема постановки граничных условий. Прозрачные граничные условия. Условия излучения. Прогноз на вложенных сетках. Телескопизация.

4.2.25 Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы

Монотонные схемы интегрирования прогностических уравнений. Квазимонотонные схемы. Метод коррекции потоков. TVD – схемы. Полулагранжев метод описания адвекции. Консервативные схемы.

4.2.26 Различные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы по времени (на примере уравнений модели «мелкой воды»)

Явные, полуявные и неявные схемы интегрирования уравнений модели. Уравнение Гельмгольца. Использование Лагранжева описания адвекции. Метод расщепления по физическим процессам. Прогностический алгоритм при помощи матричных операторов.

4.2.27 Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали

Использование конечно-разностных аналогов с повышенным порядком точности. Расштанованные по вертикали сетки. Сетка Лоренца. Сетка Чарни. Аппроксимация сплайнами. Метод конечных элементов.

4.2.28 Дисперсионные свойства конечно-разностных схем

Уравнения, описывающие эволюцию инерционно-гравитационных волн. Исследование дисперсионных свойств уравнений адаптации модели «мелкой воды». Влияние сеток на дисперсионные свойства.

4.2.29 Исследование чувствительности гидродинамических моделей атмосферы

Определение чувствительности. Прямой метод исследования чувствительности. Исследования чувствительности моделей с помощью методов теории управления. Вектор параметров. Уравнения в вариациях. Решение обратных задач. Настройка и балансировка гидродинамических моделей атмосферы.

4.3.Семинарские, практические, лабораторные занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных и практических работ	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	2	Постановка задачи гидродинамического прогноза погоды	Практическое занятие	ОК-3 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
2	3	Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы.	Практическое занятие	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
3	4	Фильтрация модели атмосферы	Практическое занятие	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
4	5	Модель мелкой воды	Практическое занятие	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
5	8	Расшатанные сетки. Дисперсионные свойства.	Практическая работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
6	9	Анализ устойчивости и дисперсионных свойств уравнений адаптации.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
7	10	Методы борьбы с нелинейной вычислительной неустойчивостью.	Практическое занятие	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6

8	12	Метод сеток. Конечно-разностные аналоги производных.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
9	13	Повышение порядка точности аппроксимации производных.	Лабораторная работа	ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-1 ОКП-6
10	14	Метод шагов по времени.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
11	15	Анализ ошибок, возникающих при аппроксимации линейного уравнения адвекции конечными разностями.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
12	16	Схемы интегрирования по времени.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
13	17	Устойчивость конечно-разностных схем.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
14	18	Анализ дисперсионных свойств	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
15	19	Уравнения колебаний, трения. Конечно-разностная аппроксимация и анализ изменения фазы решения.	Практическая работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1
16	20	Нелинейное уравнение адвекции. Нелинейная вычислительная неустойчивость.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
18	21	Аппроксимация уравнений модели мелкой воды на расшатанных и нерасшатанных сетках.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2

				ППК-1
19	22	Система уравнений гидротермодинамики атмосферы в сферической системе координат	Практическая работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
20	23	Постановка задачи локального гидродинамического прогноза погоды.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
21	24	Спектральные методы решения уравнений гидродинамики атмосферы	Практическая работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
22	25	Специальные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
23	26	Различные схемы интегрирования уравнений гидротермодинамики атмосферы по времени (на примере уравнений модели «мелкой воды»)	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
24	27	Повышение точности интегрирования уравнений по вертикали.	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
25	28	Дисперсионные свойства конечно-разностных схем	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1 ОКП-6
26	29	Исследование чувствительности гидродинамических моделей атмосферы	Лабораторная работа	ОПК-1 ОПК-5 ПК-2 ППК-1

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

5.1. Текущий контроль

5.1.1. Вопросы на лекции. Студентам предлагаются вопросы по каждому разделу с последующим их домашним анализом и письменными ответами на следующей лекции.

5.1.2. Решение задач по разделам. Студентам предлагаются задачи для домашнего решения и последующей проверки.

5.1.3. Беседа со студентами (коллоквиум) перед выполнением каждой лабораторной работы.

5.1.4. Прием и проверка отчета по каждой лабораторной и практической работе.

5.1.5. Студентам выдаётся индивидуальное задание с последующей проверкой и допуском к зачёту.

а) Образцы тестовых и контрольных заданий текущего контроля

Вопросы на лекции:

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. Как определяется вычислительная эффективность?
10. Что такое число Куранта?
11. За что отвечает критерий Куранта-Фридрихса-Леви?
12. Сформулируйте теорему Леви.
13. Какие конечно-разностные аналоги производных известны?
14. Чем отличаются конечно-разностные аналоги производных?
15. Как повысить порядок точности конечно-разностного аналога?
16. Что такое вычислительная дисперсия?
17. Что такое вычислительная вязкость?
18. К чему приводит ошибка ложного представления?
19. Что такое интегральные инварианты?

Образцы вопросов для тестирования студентов.

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

(Правильный ответ – в)

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

(Правильный ответ – а)

Вопросы к коллоквиуму перед выполнением лабораторной работы №3 «Схемы интегрирования по времени»

1. Что такое схема интегрирования по времени?
2. Для чего и когда используется схема интегрирования по времени?
3. Какие принципы классификации схем интегрирования по времени Вам известны?
4. Напишите линейное уравнение адвекции.
5. Аппроксимируйте линейное уравнение адвекции явной схемой.
6. Аппроксимируйте линейное уравнение адвекции неявной схемой.
7. В чём достоинства и недостатки явных (неявных) схем?
8. Поясните алгоритм использования схем интегрирования по времени для решения прогностических уравнений.
9. Какие внешние условия необходимы для решения линейного уравнения адвекции при помощи явной двухуровневой трёхточечной схемы?
10. В чём отличие с точки зрения алгоритма решения трёхуровневой схемы от двухуровневой схемы?
11. Что значит «поставить начальные условия»?
12. Что значит «поставить граничные условия»?
13. Какие виды граничных условий Вам известны?
14. как проявляется при решении вычислительная мода?
15. По какому критерию определяют размер шага по времени?
16. Что надо знать, чтобы рассчитать количество шагов по времени?

17. В какой ситуации нет необходимости в постановке граничных условий?
18. Как можно контролировать вычислительную неустойчивость?
19. Как ведёт себя решение при использовании неустойчивой схемы?

б) Примерная тематика рефератов, эссе, докладов

Выполнение рефератов и докладов по данной дисциплине не предусмотрено.

в) Примерные темы курсовых работ, критерии оценивания

Выполнение курсовых работ по данной дисциплине не предусмотрено учебным планом.

5.2. Методические указания по организации самостоятельной работы

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, базовый учебник [1].

Студенты заочной формы обучения выполняют контрольную работу, пользуясь методическими указаниями [4].

Выполнение работы проходит при регулярных, по возможности, консультациях с преподавателем, для чего студенту предоставлена возможность использовать удаленный доступ (Интернет).

5.3. Промежуточный контроль

Промежуточный контроль по результатам 7-го учебного семестра – зачет.

Контроль по результатам 8-го учебного семестра – экзамен.

Вопросы к зачету 7-го семестра

1. Метод сеток: основные положения.
2. Конечно-разностные аналоги производных.
3. Ошибка аппроксимации производных.
4. Порядок точности аппроксимации производных.
5. Вычислительная вязкость.
6. Согласованность конечно-разностных схем.
7. Повышение порядка точности аппроксимации.
8. Линейное уравнение адвекции: принципиальная схема прогноза.
9. Явные и неявные схемы.
10. Двухуровневые и трёхуровневые схемы интегрирования по времени.
11. Одношаговые и многошаговые схемы интегрирования.

12. Принципиальная схема прогноза по явной схеме интегрирования.
13. Принципиальная схема прогноза по неявной схеме интегрирования.
14. Решение линейного уравнения адвекции аппроксимированного неявной схемой методом итераций.
15. Вычислительные моды.
16. Физические и вычислительные начальные условия.
17. Устойчивость конечно-разностных схем интегрирования.
18. Анализ устойчивости двухуровневных схем методом Неймана.
19. Анализ устойчивости трехуровневных схем.
20. Анализ устойчивости неявных схем.
21. Сравнительный анализ устойчивости схем с использованием центральных и направленных разностей.
22. Сравнительный анализ устойчивости явных и неявных схем интегрирования.
23. Анализ устойчивости двухшаговых схем.
24. Фазовая и групповая скорости. Вычислительная дисперсия.
25. Уравнение колебания. Аппроксимация различными конечно-разностными схемами.
26. Уравнение колебания. Анализ устойчивости методом Неймана.
27. Уравнение колебания. Анализ изменения фазы колебания.
Нелинейная вычислительная неустойчивость

Образец тестов к зачету 7 семестр
(правильный ответ подчеркнут)

- 1) Анализ устойчивости конечно разностных схем производится по методу
 - a) Аракавы
 - b) Неймана
 - c) Тейлора
 - d) Эйлера
- 2) В гидродинамическом прогнозе уравнения решаются
 - a) точно
 - b) приближенно
 - c) точно или приближенно зависит от синоптической ситуации
 - d) точно или приближенно зависит от данных измерений на сети метеорологических станций

Перечень вопросов к экзамену 8-го семестра

1. Уравнения гидродинамики в сферической системе координат.

2. Уравнения гидродинамики в системе координат описывающий рельеф.
3. Особенности прогноза влажности в гидродинамических моделях атмосферы.
4. Спектральные методы, используемые в атмосферных моделях атмосферы.
5. Особенности прогноза на ограниченной территории.
6. Начальные условия для гидродинамических моделей атмосферы.
7. Граничные условия для гидродинамических моделей атмосферы.
8. Спектральные методы, используемые для гидродинамического прогноза.
9. Базисные функции, используемые в гидродинамических моделях.
10. Свойства сферических функций.
11. Разложения в ряд по тригонометрическим функциям.
12. Получение определяющей системы уравнений.
13. Использование метода наименьших квадратов при минимизации невязки.
14. Метод Галёркина при минимизации невязки.
15. Причины параметризаций физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы.
16. Основные принципы параметризаций физических процессов в атмосферных моделях.
17. Основные параметризуемые процессы в гидродинамических моделях атмосферы.
18. Подготовка начальных данных для гидродинамических моделей атмосферы.
19. Ассимиляция.
20. Ансамблевый прогноз.

Образцы билетов к экзамену 8 семестра

Экзаменационный билет №1.

Российский государственный гидрометеорологический университет

Кафедра метеорологических прогнозов

Курс Численные методы математического моделирования

1. Погодообразующие волновые процессы и метеорологические шумы.
2. Минимизация невязки. Метод Галёркина.

Заведующий кафедрой: _____ (Дробжева Я.В.)

Экзаменационный билет №2.

Российский государственный гидрометеорологический университет

Кафедра метеорологических прогнозов

Курс Численные методы математического моделирования

1. Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали.
2. Представление полей метеорологических величин при помощи рядов.

Заведующий кафедрой: _____ (Дробжева Я.В.)

Экзаменационный билет №3.

Российский государственный гидрометеорологический университет

Кафедра метеорологических прогнозов

Курс Численные методы математического моделирования

1. Гидростатическое, геострофическое и адиабатическое приближения.
2. Разложение в ряд по тригонометрическим функциям.

Заведующий кафедрой: _____ (Дробжева Я.В.)

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Клемин, В. В. Динамика атмосферы Воен.-косм. акад. им. А. Ф. Можайского ; В. В. Клёмин, Ю. В. Кулешов, С. С. Суворов, Ю. Н. Волконский ; [под общ. ред. С. С. Суворова и В. В. Клёмина]. - Санкт-Петербург: Наука, 2013. - 420 с. <http://нэб.рф>

<http://нэб.рф/search/?q=Динамика+атмосферы++&c%5B%5D=4&c%5B%5D=5&c%5B%5D=7&c%5B%5D=3&c%5B%5D=6&c%5B%5D=2&c%5B%5D=9>
<http://elib.rshu.ru>

2. Бахвалов, Н. С. Численные методы [Электронный ресурс] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. - 7-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 636 с.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=365807>

б) дополнительная литература:

1. Белов Н. П., Борисенков Е. П., Панин Б. Д.. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.

2. Белов Н. П. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1975.
3. Репинская Р. П., Анискина О. Г. Анализ и прогноз погоды для авиации. – СПб.: РГГМИ, 2001
4. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. – М.: Наука, 1977.
5. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. . – Л.: Гидрометеиздат, 1982.

в) рекомендуемые интернет-ресурсы

Электронно-библиотечная система: <http://znanium.com>

<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/numerical-weather-prediction>

Электронный ресурс NOAA National Centers For Environmental Information: http://web.kma.go.kr/eng/biz/forecast_02.jsp

Электронный ресурс Met Office Numerical Weather Prediction models: <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/weather-forecasting>

Электронный ресурс Numerical Weather Prediction NWP: <http://www.rmets.org/weather-and-climate/weather/numerical-weather-prediction-nwp>

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекции (темы №1-13, 15, 22-29)	<p>Написание конспекта лекций: последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины.</p> <p>Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников и общения с преподавателями с выписыванием толкований в тетрадь.</p> <p>Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе и в общении с преподавателями.</p> <p>Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции, на консультации, или с использованием удаленного доступа через Интернет</p>
Лаборатор-	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание

<p>ные и практические задания (темы №3, 5, 6, 9, 12-18, 21,-22, 25,27)</p>	<p>целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников, прежде всего - базового учебника. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом. Разработка программ на языке высокого уровня Fortran.</p>
<p>Индивидуальные задания</p>	<p>Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и анализ вычислительных схем. Разработка программ на языке высокого уровня Fortran.</p>
<p>Подготовка к зачету и экзамену</p>	<p>При подготовке к зачету и экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к экзамену и т.д.</p>

8. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Тема (раздел) дисциплины	Образовательные и информационные технологии	Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем
Темы 1-29	<p><u>информационные технологии</u></p> <ol style="list-style-type: none"> чтение лекций с использованием слайд-презентаций, организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты проведение компьютерного тестирования <p><u>образовательные технологии</u></p> <ol style="list-style-type: none"> интерактивное взаимодействие педагога и студента сочетание индивидуального и коллективного обучения 	<ol style="list-style-type: none"> Пакет Microsoft Excel, PowerPoint. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн http://elib.rshu.ru Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов http://ra.rshu.ru/mp Электронно-библиотечная система: Знаниум http://znanium.com
Темы 13-18, 21-29	<p><u>информационные технологии</u></p> <ol style="list-style-type: none"> чтение лекций с использованием слайд-презентаций, 	<ol style="list-style-type: none"> компилятор языка программирования Fortran-90 система анализа и

	<p>2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты</p> <p>3. проведение компьютерного тестирования <u>образовательные технологии</u></p> <p>1. интерактивное взаимодействие педагога и студента</p> <p>2. сочетание индивидуального и коллективного обучения</p>	<p>представления данных GRADS</p> <p>Пакет Microsoft Excel, PowerPoint.</p> <p>3. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн http://elib.rshu.ru</p> <p>4. Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов http://ra.rshu.ru/mp</p>
--	---	--

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. **Учебная аудитории для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2. **Учебная аудитории для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации. Персональный компьютер типа Notebook.
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
5. **Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено

доступом в электронную информационно-образовательную среду организации