

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

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа по дисциплине

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ
СИСТЕМЫ В МЕТЕОРОЛОГИИ, КЛИМАТОЛОГИИ и
АГРОМЕТЕОРОЛОГИИ**

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования программы подготовки кадров высшей квалификации
по направлению подготовки

05.06.01 «Науки о Земле»

Направленность (профиль):
Метеорология, климатология, агрометеорология

Квалификация:
Исследователь, преподаватель-исследователь

Форма обучения
Очная/Заочная

Согласовано
Руководитель ОПОП
«Метеорология, климатология,
агрометеорология»

 Погорельцев А.И.

Утверждаю
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением
Учебно-методического совета
22 сентября 2020 г., протокол № 1

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
29 мая 2020 г., протокол № 14
И.о.зав. кафедрой  Анискина О.Г.

Авторы-разработчики:
 Погорельцев А.И.
 Анискина О.Г.

Составили:

А.И.Погорельцев, д. ф.-м. н., профессор кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ

О.Г.Анискина, к.ф.-м.н., доцент кафедры метеорологических прогнозов РГГМУ

© Погорельцев А.И. 2020

© Анискина О.Г. 2020

© РГГМУ, 2020.

1. Цели освоения дисциплины

Цель дисциплины «Вычислительные методы и геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии» является подготовка специалистов, владеющих знаниями в объёме, необходимом для глубокого понимания принципов построения и функционирования гидродинамических моделей природных процессов, способных создавать гидродинамические модели атмосферных процессов и грамотно использовать результаты моделирования.

Основные задачи дисциплины «Вычислительные методы и геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии» связаны с освоением:

физических основ построения гидродинамических моделей природных процессов;
современных методов решения уравнений гидродинамики;
приобретение практических навыков по созданию и использованию гидродинамических моделей природных процессов разной степени сложности;
приобретение практических навыков по использованию результатов гидродинамического моделирования природных процессов;
приобретение навыков представления результатов исследования;
приобретение навыков работы с ГИС.

Дисциплина изучается студентами очной и заочной форм обучения, обучающимися по программе подготовки 05.06.01 – «Науки о Земле».

2. Место дисциплины в структуре ОПОП

в метеорологии, климатологии и агрометеорологии» для научной специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология и агрометеорология направления подготовки относится к дисциплинам вариативной 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 «Вычислительные методы и геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии» изучаются:

- «Озон, диоксид углерода, метан, гидроксил, азотистые и другие малые примеси в атмосфере», «Прикладная климатология и влияние изменений климата на отрасли народного хозяйства», «Спутниковые методы исследования природной среды», «Взаимодействие между атмосферными процессами в полярных и умеренных широтах и между процессами в умеренных широтах и тропиках».

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

<i>Код компетенции</i>	<i>Компетенция</i>
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.
ПК-1	понимание принципов, определяющих разномасштабные процессы и явления в атмосфере, умением применять методики и технологии анализа, расчета и прогноза их состояния.
ПК-2	понимание и творческое использование знаний фундаментальных и прикладных разделов специальных метеорологических дисциплин
ПК-6	умение анализировать методологические проблемы, возникающие при решении исследовательских и практических задач в области гидрометеорологии
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях

В результате освоения компетенций в рамках дисциплины «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» 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 «Вычислительные методы и геоинформационные системы в метеорологии, климатологии и агрометеорологии» сведены в таблице.

Соответствие уровней освоения компетенции планируемым результатам обучения и критериям их оценивания

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2	3 минимальный	4 базовый	5 продвинутый
Второй этап (уровень) ОПК-1	Владеть: способен самостоятельно осуществлять научно- исследовательскую деятельность по оценке ОЦА	Не владеет: методами научно- исследовательской деятельности по оценке ОЦА	Недостаточно владеет: методами научно- исследовательской деятельности по оценке ОЦА	Хорошо владеет: методами научно- исследовательской деятельности по оценке ОЦА	Свободно владеет: методами научно- исследовательской деятельности по оценке ОЦА
	Уметь: грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Не умеет: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Затрудняется: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Умеет с помощью преподавателя: обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы	Умеет самостоятельно: грамотно обрабатывать и систематизировать имеющийся архивный материал и данные параметров атмосферы
	Знать: основные принципы численного и физико- статистического моделирования процессов атмосферы.	Не знает: основные принципы численного и физико- статистического моделирования процессов атмосферы.	Плохо знает: основные принципы численного и физико- статистического моделирования процессов атмосферы.	Хорошо знает: основные принципы численного и физико- статистического моделирования процессов атмосферы.	Отлично знает: основные принципы численного и физико- статистического моделирования процессов атмосферы.
Второй этап (уровень) ПК-1	Владеть: понимание принципов, определяющих разномасштабные процессы и явления в атмосфере,	Не владеет: Знаниями об определяющих разномасштабные процессы и явления в атмосфере	Недостаточно владеет: Знаниями об определяющих разномасштабные процессы и явления в атмосфере	Хорошо владеет: Знаниями об определяющих разномасштабные процессы и явления в атмосфере	Свободно владеет: Знаниями об определяющих разномасштабные процессы и явления в атмосфере
	Уметь: применять методики и технологии анализа, расчета и прогноза их состояния	Не умеет: применять методики и технологии анализа, расчета и прогноза их состояния	Затрудняется: применять методики и технологии анализа, расчета и прогноза их состояния	Умеет с помощью преподавателя: применять методики и технологии анализа, расчета и прогноза их состояния	Умеет самостоятельно: применять методики и технологии анализа, расчета и прогноза их

					состояния
	Знать: принципы, определяющие разномасштабные процессы и явления в атмосфере	Не знает: принципы, определяющие разномасштабные процессы и явления в атмосфере	Плохо знает: принципы, определяющие разномасштабные процессы и явления в атмосфере	Хорошо знает: принципы, определяющие разномасштабные процессы и явления в атмосфере.	Отлично знает: принципы, определяющие разномасштабные процессы и явления в атмосфере.
Второй этап (уровень) ПК-2	Владеть: Творческим подходом к использованию знаний фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Не владеет: Творческим подходом к использованию знаний фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Недостаточно владеет: Творческим подходом к использованию знаний фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Хорошо владеет: Творческим подходом к использованию знаний фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Свободно владеет: Творческим подходом к использованию знаний фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования
	Уметь: Творчески использовать знания фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Не умеет: Творчески использовать знания фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Затрудняется: Творчески использовать знания фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Умеет с помощью преподавателя: Творчески использовать знания фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования	Умеет самостоятельно: Творчески использовать знания фундаментальных и прикладных разделов математического моделирования
	Знать: фундаментальные и прикладные разделы математического моделирования	Не знает: фундаментальные и прикладные разделы математического моделирования	Плохо знает: фундаментальные и прикладные разделы математического моделирования	Хорошо знает: фундаментальные и прикладные разделы математического моделирования	Отлично знает: фундаментальные и прикладные разделы математического моделирования
Второй этап (уровень) ПК-6	Владеть: Навыками анализа методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Не владеет: Навыками анализа методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Недостаточно владеет: Навыками анализа методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Хорошо владеет: Навыками анализа методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Свободно владеет: Навыками анализа методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования
	Уметь: Анализировать методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Не умеет: Анализировать методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Затрудняется: Анализировать методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Умеет с помощью преподавателя: Анализировать методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Умеет самостоятельно: Анализировать методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования

	Знать: методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Не знает: методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Плохо знает: методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Хорошо знает: методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования	Отлично знает: методологические проблемы, возникающие при решении задач моделирования
Второй этап (уровень) УК-1	Владеть: способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях	Не владеет: способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях	Недостаточно владеет: способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях	Хорошо владеет: способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях	Свободно владеет: способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных областях
	Уметь: излагать и критически анализировать базовую информацию	Не умеет: излагать и критически анализировать базовую информацию	Затрудняется: излагать и критически анализировать базовую информацию	Умеет с помощью преподавателя: излагать и критически анализировать базовую информацию	Умеет самостоятельно: излагать и критически анализировать базовую информацию
	Знать: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.	Не знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.	Плохо знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.	Хорошо знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.	Отлично знает: основные принципы составления разделов научно-технических отчётов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематике проводимых исследований.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
	2020 г. набора	
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	42	8
в том числе:		
Лекции	28	4
практические занятия	14	4
лабораторные занятия	0	
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	66	100
в том числе:		
курсовая работа	-	
контрольная работа	-	
Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	Зачет с оценкой (4 семестр)	Зачёт с оценкой (6 семестр)

4.1. Структура дисциплины Очное обучение

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час	Формируемые компетенции
			Лекции	Практические занятия и (или) семинары	Лабораторные работы	Самостоятельная работа			
1	Моделирование атмосферных процессов	4	2	0	0	4	Опрос с оценкой знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
2	Конечно-разностная аппроксимация производных Сетки, используемые в математическом моделировании атмосферных процессов	4	2	4	0	4	Обсуждение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
3	Адаптивные сетки	4	2	0	0	4	Опрос с оценкой	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2

							й знаний		ПК-6 УК-1
4	Численное интегрирование и дифференцирование по вертикали. Учёт орографии в гидродинамических моделях атмосферы.	4	2	0	0	4	Обсуждение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
5	Гидростатическое приближение в атмосферных моделях	4	2	0	0	4	Опрос оценко й	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
6	Негидростатические модели	4	2	0	0	4	Опрос с оценко й.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
7	Полулагранжев и лагранжев подходы к решению уравнений гидродинамики природных процессов. Методы расщепления.	4	2	2	0	4	Опрос с оценко й	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
8	Спектральные и спектрально-сеточные методы решения уравнений гидродинамики природных процессов.	4	4	4	0	4	Опрос с оценко й знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
9	Методы конечных элементов и объёмов.	4	2		0	4	Вопрос ы и ответы в баллах.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
10	Подготовка начальных данных.	4	2	0	0	4	Опрос с оценко й знаний.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
11	Параметризация физических процессов.	4	4	4	0	4	Вопрос ы и ответы в баллах.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
12	Ансамблевый прогноз.	4	2	0	0	4	Опрос с оценко й знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
13	Геофизические информационные системы (ГИС) в науках о земле. Сферы и уровни использования ГИС. Геоинформационные системы ресурсного типа.	4	0	0	0	8	Обсуждение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1

14	Геоинформационные системы IDRISI, ArcGIS, ArcView, ГИС METEO.	4	0	0	0	10	Обсуж дение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
Итого часов:			28	14	0	66		0	
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче		108 часов							

Заочная форма обучения

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов				Формы текущего контроля успеваемости	Занятия в активной и интерактивной форме, час	Формируемые компетенции
			Лекции	Практические занятия и (или) семинары	Лабораторные работы	Самостоятельная работа			
1	Моделирование атмосферных процессов	6	2	1	0	2	Опрос с оценко й знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
2	Конечно-разностная аппроксимация производных Сетки, используемые в математическом моделировании атмосферных процессов	6	0	2	0	4	Обсуж дение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
3	Адаптивные сетки	6	0	2	0	4	Вопрос ы и ответы в баллах	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
4	Численное интегрирование и дифференцирование по вертикали. Учёт орографии в гидродинамических моделях атмосферы.	6	0	2	0	6	Обсуж дение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
5	Гидростатическое приближение в атмосферных моделях	6	0	2	0	4	Опрос оценко й	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
6	Негидростатические модели	6	0	2	0	4	Опрос с оценко й.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6

									УК-1
7	Полулагранжев и лагранжев подходы к решению уравнений гидродинамики природных процессов. Методы расщепления.	6	0	2	0	4	Опрос с оценкой	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
8	Спектральные и спектрально-сеточные методы решения уравнений гидродинамики природных процессов.	6	2	3	0	6	Расчётные задания с оценкой результатов в баллах	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
9	Методы конечных элементов и объёмов.	6	0	2	0	6	Вопросы и ответы в баллах.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
10	Подготовка начальных данных.	6	0	6	0	6	Расчётные задания с оценкой результатов в баллах.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
11	Параметризация физических процессов.	6	0	4	0	6	Вопросы и ответы в баллах.	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
12	Ансамблевый прогноз.	6	0	4	0	4	Расчётные задания с оценкой результатов в баллах	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
13	Геофизические информационные системы (ГИС) в науках о земле. Сферы и уровни использования ГИС. Геоинформационные системы ресурсного типа.	6	0	2	0	20	Обсуждение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
14	Геоинформационные системы IDRISI, ArcGIS, ArcView, ГИС МЕТЕО.	6	0	2	0	14	Обсуждение и оценка знаний	0	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6

								УК-1
Итого часов:	4	4	0	100			0	
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче зачета	108 часов							

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2. Содержание разделов дисциплины

4.2.1. Моделирование атмосферных процессов

История гидродинамического моделирования атмосферных процессов. Уравнения гидродинамики атмосферы. Классификация моделей атмосферы. Методы решения.

4.2.2 Сетки, используемые в математическом моделировании атмосферных процессов.

Дискретизация пространства. Сетки. Аппроксимация. Ошибка аппроксимации. Порядок точности аппроксимации. Вычислительная вязкость. Согл-сованность. Сходимость. Дисперсионные свойства. Фаза колебания. Устойчивость. Повышение порядка точности за счёт привлечения дополнительных узлов сетки. Основные подходы к построению консервативных схем. Повышение устойчивости конечно-разностных алгоритмов при помощи консервативных схем. Понятия монотонности и квази-монотонности. Основные подходы к построению монотонных схем. Схема Смоляркевича. Схемы коррекции потоков. TVD- схемы. Различные ограничители в TVD- схемах. Схема кабаре.

Регулярные и нерегулярные сетки. Проблема полюсов в глобальных моделях в сферической системе координат. Сетка Курихары. Икосаэдральная сетка. Перекрывающиеся сетки. Инь-Янь сетки. Повёрнутая система координат. Методики повышения порядка точности аппроксимации производных.

4.2.3 Адаптивные сетки

Адаптивные сетки. Методы непрерывной динамической адаптации се-ток.

4.2.4 Численное интегрирование и дифференцирование по вертикали. Учёт орографии в гидродинамических моделях атмосферы

Дискретизация по вертикали, обеспечивающая наличие инвариантов. Численное интегрирование методом Гаусса. Дифференцирование по вертикали, обеспечивающее наличие инвариантов. Сигма-система координат. Повторяющая орографию система координат на основе высоты. Повторяющая орографию система координат на основе давления. Гибридные сетки. Расшата-ные по вертикали сетки. Сетка Чарни-Филлипса. Сетка Лоренца. Аппроксимации уравнений гидродинамики атмосферы на различных сетках по вертикали.

4.2.5 Гидростатическое приближение в атмосферных моделях

Волновые процессы, описываемые уравнениями гидродинамики атмосферы. Важность описания волн разных масштабов. Фильтрующие и упрощающие гипотезы гидродинамического моделирования атмосферных процессов. Приближение Буссинеска. Уравнение статики. Интегрирование уравнения статики.

4.2.6 Негидростатические модели

Условия, требующие описания акустических волн в атмосферных моделях. Негидростатическая формулировка уравнений гидродинамики атмосферы. Системы координат, используемые в негидростатических моделях атмосферы. Особенности интегрирования по времени негидростатических моделей атмосферы.

4.2.7. Полулагранжев и лагранжев подходы к решению уравнений гидродинамики природных процессов. Методы расщепления

Переменные Лагранжа. Уравнения в лагранжевых переменных. Методы определения начальной точки траектории. Методы определения конечной точки траектории. Явный, неявный и полунявный алгоритмы решения уравнений в лагранжевых переменных. Основные положения метода расщепления. Физические основы метода расщепления. Математические положения метода расщепления. Применение метода расщепления для решения уравнений модели «мелкой воды». Применение метода расщепления для решения уравнений бароклинной негеострофической адиабатической модели атмосферы.

4.2.8. Спектральные и спектрально-сеточные методы решения уравнений гидродинамики природных процессов. Методы конечных элементов и объёмов.

Разложение в ряд по базисным функциям. Прямое и обратное преобразования Фурье. Сферические функции. Разложение в ряды по сферическим функциям. Методы усечения рядов по сферическим функциям. Спектрально-сеточные методы решения уравнений гидродинамики природных процессов. Основные принципы решения уравнений спектрально-сеточным методом. Применения спектрально сеточного метода для решения прогностических уравнений гидродинамики природных процессов. Основные положения метода конечных элементов. Триангуляция. Базисные функции. Кусочно-линейные функции. Функции – крышки. Решение методом конечных элементов уравнений модели «мелкой воды». Основные понятия метода конечных объёмов. Триангуляция. Базисные функции. Кусочно-линейные функции. Функции – крышки. Решение методом конечных элементов уравнений модели «мелкой воды».

4.2.9 Метод конечных элементов и объёмов

Основные положения метода конечных элементов. Триангуляции области. Базисные функции, используемые в методе конечных элементов. Функции-крышки. Минимизация невязки. Получение определяющей системы уравнений. Использование метода конечных элементов для аппроксимации уравнений по вертикали.

4.2.10 Подготовка начальных данных

Влияние ошибок в начальных данных на качество моделирования. Ассимиляция. Вектор состояния. Вектор наблюдений. Оператор наблюдений. Интерполяция. Согласование. Инициализация. Метод Крессмана. Nadjing. Вариационные методы ассимиляции. Фильтр Кальмана.

4.2.11 Параметризация физических процессов

Учёт неадиабатичности в моделировании природных процессов. Влияние неадиабатичности на качество прогноза. Важность учёта неадиабатичности в гидродинамических моделях. Параметризация неадиабатических процессов. Процессы, подлежащие параметризации. Основные положения параметризации процессов. Параметризация фазовых переходов в атмосфере. Параметризация радиационных и турбулентных потоков.

4.2.12 Ансамблевый прогноз

Детерминированные гидродинамические прогнозы. Ансамблевые гидродинамические прогнозы. Типы систем ансамблевого прогноза. Стандартная продукция систем ансамблевого прогнозирования. Создание ансамбля прогнозов. Мультимодельные системы ансамблевого прогнозирования. Введение ошибок в начальные данные. Метод сингулярных векторов. Бридинг метод.

4.2.13. Географические информационные системы (ГИС) в науках о земле. Сферы и уровни использования ГИС. Геоинформационные системы ресурсного типа.

История создания ГИС. Цели и задачи создания ГИС. Основные принципы создания и работы в ГИС. Задачи, решаемые ГИС. Возможности применения ГИС для эффективного использования знаний о территории при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, оценкой состояния, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества.

4.2.14. Геоинформационные системы IDRISI, ArcGIS, ArcVirw, ГИС METEO.

Основные ГИС, используемые для решения метеорологических задач. Основы работы в ГИС IDRISI Kilimanjaro. Анализ спутниковых снимков в IDRISI Kilimanjaro и ArcView. Анализ синоптических карт в ГИС METEO.

4.3. Практические занятия, их содержание

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных и практических работ	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	2	Конечно-разностная аппроксимация производных	Практическая работа	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
2	7	Полулагранжев и лагранжев подходы к решению уравнений гидродинамики природных процессов. Методы расщепления.	Практическая работа	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
3	8	Спектральные и спектрально-сеточные методы решения уравнений гидродинамики природных процессов.	Практическая работа	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1
4	11	Параметризация физических процессов.	Практическая работа	ОПК-1 ПК-1 ПК-2 ПК-6 УК-1

Семинарских и лабораторных занятий учебным планом не предусмотрено.

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

5.1. Текущий контроль

а). Образцы тестовых заданий текущего контроля

- 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 практической работой.
- 5.1.4. Прием и проверка отчета по каждой практической работой.
- 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. Чем определяется разрешение модели при использовании спектральных методов решения уравнений гидродинамики атмосферы?
3. Какие требования предъявляются к численным схемам?
4. Что такое аппроксимация?
5. Дать понятие гидростатической модели атмосферы?
6. Как определяется порядок аппроксимации конечно-разностной схемы?
7. В чём суть ансамблевого прогноза?
8. Какие процессы параметризуются в гидродинамических атмосферных моделях??
9. Как рассчитываются коэффициенты разложения в ряд по тригонометрическим функциям?
10. Что такое число Куранта?
11. За что отвечает критерий Куранта-Фридрихса-Леви?
12. Сформулируйте теорему Лакса?
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 полулагранжев подход к описанию адвекции?
17. Что такое вычислительная вязкость?
18. К чему приводит ошибка ложного представления?
19. Какие функции могут быть использованы в качестве базисных?

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 практической работы №1 «Конечно-разностная аппроксимация производных»

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 учебным планом.

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, необходимый для выполнения практических работ, для чего рекомендуется использовать учебники и консультации у преподавателя.

Студенты заочной формы обучения выполняют практические задания, пользуясь учебниками.

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

5.3. Промежуточный контроль

Контроль по результатам 4-го учебного семестра – зачет.

Вопросы к зачету 4-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 двухуровневых схем методом Неймана.
19. Анализ устойчивости трехуровневых 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

а) повышается точность

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

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.

Dale R. Durran Numerical Methods for Fluid Dynamics: with Applications in Geophysics Springer, 2010. — 533 p.

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) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://znanium.com>

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

http://web.kma.go.kr/eng/biz/forecast_02.jsp

<http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/weather-forecasting>

<http://www.rmets.org/weather-and-climate/weather/numerical-weather-prediction-nwp>

<http://meteoinfo.ru/sm-forc-maps>

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекции (темы №1-14)	<p>Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины.</p> <p>Проверка терминов, понятий, технических характеристик с помощью интернет ресурсов с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.</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>
Практические занятия (темы №2, 7, 8, 11)	<p>Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины.</p> <p>Конспектирование источников.</p> <p>Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы и работа с текстом. Решение тестовых заданий, решение задач и другие виды работ.</p>
Подготовка к зачету	<p>При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу, вопросы для подготовки к зачету 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 и 6	<p><u>информационные технологии</u></p> <p>1. чтение лекций с использованием слайд-презентаций,</p> <p>2. организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты</p> <p>3. использование архивов данных, ассимилированных в модель UK Met Office и MERRA2, пакет прикладных программ, предназначенных для анализа и диагностики волновых процессов и нелинейных взаимодействий в атмосфере.</p> <p><u>образовательные технологии</u></p> <p>1. интерактивное взаимодействие педагога и студента</p> <p>2. сочетание индивидуального и</p>	<p>1. Пакет Microsoft Excel, PowerPoint.</p> <p>2. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн http://elib.rshu.ru</p> <p>3. Использование сайта кафедры метеорологических прогнозов: http://ra.rshu.ru/mps/dwnl/apogor/Динамика/ http://ra.rshu.ru/mps/dwnl/apogor/Нелинейные_процессы/</p> <p>4. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/research/merra/</p> <p>5. Данные ре-анализов NASA: http://gmao.gsfc.nasa.gov/products/document_s/MERRA_File_Specification.pdf</p> <p>6. Данные ре-анализов UK MET OFFICE <a href="http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo-
assim">http://badc.nerc.ac.uk/browse/badc/ukmo- assim</p> <p>7. Данные ре-анализов UK MET OFFICE http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/index.html</p>

	коллективного обучения	8. Программный пакет GrADs, предназначенный для визуализации четырехмерных (долгота, широта, высота и время) распределений метеорологических полей 9. Трехмерная модель общей циркуляции средней и верхней атмосферы 10. Использование сайта лаборатории моделирования средней и верхней атмосферы и кафедры метеорологических прогнозов: http://ra.rshu.ru , http://ra.rshu.ru/mp .
--	------------------------	---

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
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.

10. 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.