

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа дисциплины
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АТМОСФЕРНЫХ
ПРОЦЕССОВ

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки

05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»

Направленность (профиль)
Прикладная метеорология
Уровень:
Бакалавриат

Форма обучения
Очная/заочная

Согласовано
Руководитель ОПОП
«Прикладная метеорология»
_____ Волобуева О.В.

Председатель УМС РГГМУ
_____ Палкин И.И.

Рекомендовано решением
Ученого совета метеорологического факультета
_____ 19 мая 2021 г., протокол № 8

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры
Метеорологических прогнозов
_____ 4 мая 2021 г., протокол № 9
Зав. кафедрой _____ Анискина О.Г.

Авторы-разработчики:
_____ Анискина О.Г.

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины — подготовка бакалавров, 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.

Задачи:

- 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.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология, профиль – Прикладная метеорология относится к дисциплинам формируемым участниками образовательных отношений.

Дисциплина изучается в 8 семестре очного обучения и на 5 году заочного обучения.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Физика», «Информатика», «Математика», «Физика атмосферы», «Динамическая метеорология», «Геофизическая гидродинамика», «Статистические методы анализа гидрометеорологической информации», «Физическая метеорология», «Компьютерные технологии в метеорологических исследованиях», "Численные методы решения гидрометеорологических задач".

Параллельно с дисциплиной «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» изучаются: «Линейная теория атмосферных волн», «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы», "Подготовка данных для гидродинамического моделирования".

Результаты освоения дисциплины «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов» будут использованы при освоении дисциплин «Численные методы моделирования изменчивости состава атмосферы», «Подготовка данных для гидродинамического моделирования», «Линейная теория атмосферных волн».

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:

ПК-2.2, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3

Таблица 2.

Профессиональные компетенции

Код и наименование общепрофессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения общепрофессиональной компетенции	Результаты обучения
ПК-2 - Способен анализировать явления и процессы	ПК-2.2 - Выявляет закономерности и аномалии происходящих процессов в	<i>Знать:</i> - Основные законы природных процессов,

природной среды, выявлять их закономерности	природной среде	лежащие в основе гидродинамических моделей атмосферы; Уметь: - Использовать знания о закономерностях природных процессов при построении гидродинамических моделей атмосферы; Владеть: - Навыками работы с гидродинамическими моделями атмосферы применения численных методов при решении гидрометеорологических задач.
ПК-5 - Способен систематизировать метеорологическую информацию, полученную различными способами	ПК-5.1 Использует различные источники (данные наблюдений, экспериментов и результатов моделирования) и методы получения информации о конкретном явлении или процессе	Знать: - Современные гидродинамические модели атмосферы, информацию которых можно использовать при решении метеорологических задач ; Уметь: - Методы получения информации гидродинамического моделирования; Владеть: - Навыками получения, конвертирования и визуализации результатов гидродинамического моделирования.
	ПК-5.2 - Оценивает качество полученной метеорологической информации	Знать: - Методы, используемые для оценки гидродинамических прогнозов; Уметь: - Оценивать качество гидродинамических прогнозов; Владеть: - Навыками применения оценки результатов гидродинамического моделирования.
	ПК-5.3 - Проводит анализ и систематизацию поступившей информации, которая может	Знать: - Методы получения информации о результатах

	быть использована в том числе для составления обзоров и справочников	<i>гидродинамического моделирования; Уметь: - Получать и систематизировать информацию гидродинамического моделирования; Владеть: - Навыками анализа результатов гидродинамического моделирования.</i>
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет _5_ зачетные единицы, _180_ академических часов.

Таблица 4.

Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах, 2021 год набора

Объем дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
Объем дисциплины	180	180
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	70	36
в том числе:	-	-
лекции	28	8
занятия семинарского типа:		
практические занятия		
лабораторные занятия	42	12
Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:	110	120
в том числе:	-	-
контрольная работа		
Вид промежуточной аттестации	Экзамен 8 семест	Экзамен 5 год обучения

4.2. Структура дисциплины

Таблица 5.

Структура дисциплины для очной формы обучения

№	Раздел / тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Лабораторные занятия	СРС			
1	Постановка задачи гидродинамического прогноза.	8	4	2	10	вопросы на лекции	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
2	Численные методы, используемые в гидродинамических моделях атмосферы	8	4	4	20	Вопросы на лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
3	Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы	8	4	8	20	Вопросы на лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
4	Современные гидродинамические модели атмосферы	8	6	8	20	Вопросы на лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
5	Обработка результатов гидродинамического прогноза погоды.	8	8	8	20	Вопросы на лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.2

						работе		
6	Интерпретация результатов гидродинамического прогноза погоды	8	2	10	20	Вопросы на лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.3
	ИТОГО	-	28	42	110	-	-	-

Таблица 7.

Структура дисциплины для заочной формы обучения

№	Раздел дисциплины	Год	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Лабораторные занятия	СРС			
1	Постановка задачи гидродинамического прогноза	5	2	0	18	вопросы на лекции	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
2	Численные методы, используемые в гидродинамических моделях атмосферы	5	0	2	18	Опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
3	Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы	5	2	2	18	Вопросы на лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
4	Современные гидродинамические модели атмосферы	5	0	2	18	Опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.1
5	Обработка результатов гидродинамического прогноза погоды.	5	2	2	18	Вопросы на лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.2
6	Интерпретация	5	2	2	20	Вопросы на	ПК-2, ПК-5	ПК-2.2, ПК-5.3

	результатов гидродинамиче- ского прогноза погоды					лекции, опрос перед выполнением лабораторной работы, отчёт по лабораторной работе		
	ИТОГО	-	8	12	110	-	-	-

4.3. Содержание разделов дисциплины

4.2.1 Постановка задачи гидродинамического прогноза

Предмет и задачи дисциплины. История развития гидродинамических методов прогноза погоды.

Многомасштабность атмосферных процессов и их классификация. Погодообразующие процессы и метеорологические шумы. Замкнутая система уравнений гидротермодинамики атмосферы и её особенности. Гидростатическое, геострофическое и адиабатическое приближения.

Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. 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 гидродинамики 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 Ламе. Достоинства и недостатки применения сферической системе координат. Методы преодоления недостатков. Повернутая сферическая система координат.

Формулировка задачи регионального прогноза погоды. Описание мезомасштабных процессов. Особенности регионального прогноза погоды. Проблема постановки граничных условий. Прозрачные граничные условия. Условия излучения. Прогноз на вложенных сетках. Телескопизация.

4.2.2 Численные методы, используемые в гидродинамических моделях атмосферы

Уравнения модели мелкой воды. Численные методы, используемые в современных гидродинамических моделях. Полулагранжево описание адвекции. Метод Рунге-Кутты. Методы расщепления. Расшатанные по пространству и по времени сетки. Нерегулярные сетки. Сетка Гаусса. Сетка Курихары. Широтно-долготные сетки. Редуцированные сетки. Сетка Инь-Янь. Адаптивные сетки. Конечно-разностная аппроксимация полных уравнений на различных сетках.

4.2.3 Описание физических процессов в гидродинамических моделях атмосферы

Проблема описание 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.

4.2.4 Современные гидродинамические модели атмосферы

Современные глобальные гидродинамические модели атмосферы (GFS, IFS, UM, ICON, PLAV). Современные региональные модели атмосферы (COSMO, WRF-ARW). Современные модели климата (CAM5, CESM1, AM3, ИВМ РАН, ГГО им.А.И.Воейкова). Постановка начальных и граничных условий. Ассимиляция. Фиктивные граничные условия. Граничные условия излучения. Прозрачные граничные условия.

4.2.5 Обработка результатов гидродинамического прогноза погоды

Обработка результатов гидродинамического моделирования в целях метеорологического обеспечения народного хозяйства. Использование программных пакетов для обработки и визуализации результатов моделирования (GRADS, Ponoply, cdo). Оценка качества гидродинамических прогнозов.

4.2.6 Интерпретация результатов гидродинамического прогноза погоды

Статистическая коррекция результатов моделирования. Динамическая коррекция гидродинамических прогнозов. Ансамблевый прогноз и его интерпретация.

4.4. Содержание лабораторных занятий

Таблица 11.

Содержание лабораторных занятий для очной формы обучения

№ темы дисциплины	Тематика лабораторных занятий	Всего часов	В том числе часов практической подготовки
1	<u>№ 1 Разработка алгоритма модели мелкой воды</u>	2	2
2	<u>№ 2 Программная реализация модели мелкой воды и численные эксперименты</u>	6	2
3	<u>№ 3 Разработка и эксперименты со схемами параметризации физических процессов (конвекция, крупномасштабная конденсация, турбулентность)</u>	8	2
4	<u>№ 4 Работа с моделью WRF-ARW</u>	8	2
5	<u>№ 5 Оценка качества прогнозов, разработанных с использованием модели WRF-ARW и GFS</u>	4	2
5	<u>№ 6 Разработка прогнозов метеорологических явлений с использованием результатов моделирования (модели GFS и WRF-ARW)</u>	4	2
6	<u>№ 7 Применение методов статистической интерпретации гидродинамических</u>	2	2

	<u>детерминированных прогнозов.</u>		
6	<u>№ 8 Создание ансамблевого прогноза</u>	4	2
6	<u>№ 9 Обработка результатов ансамблевого прогноза</u>	4	2

Таблица 13.

Содержание лабораторных занятий для заочной формы обучения

№ темы дисциплины	Тематика лабораторных занятий	Всего часов	В том числе часов практической подготовки
2	<u>№ 1 Численные эксперименты с моделью мелкой воды</u>	2	2
3	<u>№ 2 Численные эксперименты со схемами параметризации физических процессов (конвекция, крупномасштабная конденсация, турбулентность)</u>	2	2
4	<u>№ 3 Работа с моделью WRF-ARW</u>	2	2
5	<u>№ 4 Оценка качества прогнозов, разработанных с использованием модели WRF-ARW и GFS</u>	2	2
6	<u>№ 7 Применение методов статистической интерпретации гидродинамических детерминированных прогнозов.</u>	2	2

5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

В течение семестра студент обязан самостоятельно прорабатывать материал, изложенный на лекциях, для чего рекомендуется использовать сделанные на лекциях конспекты, изучить основную и дополнительную литературу. Дополнительно к лекционным и практическим занятиям студент может приходить на консультации с преподавателем, для чего студент может использовать возможности удаленного доступа (Интернет).

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале. Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр – 100:

- максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля - 60;
- максимальное количество баллов за посещение лекционных занятий - 10;
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации - 30;

6.1. Текущий контроль

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

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

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

6.1.4. Прием и проверка отчета по каждой лабораторной работе.

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

6.2. Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – **экзамен**.

Форма проведения экзамена устно по билетам

Перечень вопросов для подготовки к экзамену:

ПК-2

1. История развития гидродинамических моделей атмосферы.
2. Многомасштабность атмосферных процессов и их классификация.
3. Замкнутая система уравнений гидротермодинамики атмосферы и её особенности.
4. Упрощающие и фильтрующие гипотезы.
5. Формулировка задачи гидродинамического прогноза погоды. Начальные условия. Боковые граничные условия. Граничные условия по вертикали. Принципиальная схема гидродинамического прогноза.

6. Классификация гидродинамических прогнозов.
7. Интегрирование диагностических уравнений моделей по вертикали.
8. Системы координат, используемые в гидродинамических моделях атмосферы
9. Развитие систем координат по вертикали
10. Формулировка задачи регионального прогноза погоды.
11. Проблема постановки граничных условий.
12. Телескопизация.
13. Уравнения модели мелкой воды.
14. Численные методы, используемые в современных гидродинамических моделях.
15. Полулагранжево описание адвекции.
16. Метод Рунге-Кутты.
17. Методы расщепления.
18. Современные сетки
19. Адаптивные сетки.
20. Параметризация физических процессов

ПК-5

21. Современные глобальные гидродинамические модели атмосферы (GFS, IFS, UM, ICON, PLAV).

22. Современные региональные модели атмосферы (COSMO, WRF-ARW).
Современные модели климата (CAM5, CESM1, AM3, ИВМ РАН, ГГО им. А.И. Воейкова).

23. Постановка начальных и граничных условий.

24. Ассимиляция.

25. Обработка результатов гидродинамического моделирования в целях метеорологического обеспечения народного хозяйства.

26. Использование программных пакетов для обработки и визуализации результатов моделирования (GRADS, Ponoply, cdo).

27. Оценка качества гидродинамических прогнозов.

28. Статистическая коррекция результатов моделирования.

Динамическая коррекция гидродинамических прогнозов. Ансамблевый прогноз и его интерпретация.

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 14.

Распределение баллов по видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Посещение лекционных занятий	0-10
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №1	0-5
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №2	0-6
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №3	0-6
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №4	0-6
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №5	0-5
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №6	0-6
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №7	0-6
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №8	0-5
Выполнение и отчёт по лабораторной работе №9	0-6
Промежуточная аттестация	30
ИТОГО	0-100

Минимальное количество баллов для допуска до промежуточной аттестации составляет 48 баллов при условии выполнения всех видов текущего контроля.

Таблица 16.

Балльная шкала итоговой оценки на экзамене

Оценка	Баллы
Отлично	85-100
Хорошо	65-84
Удовлетворительно	40-64
Неудовлетворительно	0-39

7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролю промежуточной аттестации представлены в Методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины «Численные методы решения гидрометеорологических задач».

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

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.
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>

Дополнительная литература

1. Репинская Р. П. , Анискина О. Г. Конечно-разностные методы в гидродинамическом моделировании атмосферных процессов. – СПб.: РГГМИ, 2001 http://elibrary.ru/files_books/pdf/img-213172857.pdf
2. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982

3. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. – М.: Наука, 1979
4. Белов Н. П., Борисенков Е. П., Панин Б. Д.. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090589.pdf
5. Белов Н. П. Численные методы прогноза погоды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

1. Электронный ресурс NOAA National Centers For Environmental Information. Режим доступа: http://web.kma.go.kr/eng/biz/forecast_02.jsp
2. Электронный ресурс Met Office Numerical Weather Prediction models. Режим доступа: <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/weather-forecasting>
3. Электронный ресурс Numerical Weather Prediction NWP. Режим доступа: <http://www.rmets.org/weather-and-climate/weather/numerical-weather-prediction-nwp>

8.3. Перечень программного обеспечения

1. windows 7 48818295 20.07.2011
2. office 2010 49671955 01.02.2012
3. windows 7 48130165 21.02.2011
4. office 2010 49671955 01.02.2012
5. windows 7 48130165 21.02.2011
6. office 2010 49671955 01.02.2012
7. GNU Fortran - компилятор (свободно распространяемое программное обеспечение).
8. GRADS - система анализа и представления данных (свободно распространяемое программное обеспечение).

8.4. Перечень информационных справочных систем

1. Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн. Режим доступа: <http://elib.rshu.ru>
2. Электронно-библиотечная система Знаниум. Режим доступа: <http://znanium.com>

8.5. Перечень профессиональных баз данных

1. Электронно-библиотечная система elibrary;
2. База данных издательства SpringerNature;

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программе дисциплины

Учебная аудитория 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 обеспеченностью доступа к архиву метеорологических карт и наблюдений

1. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
2. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

3. **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.

11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий