

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

кафедра метеорологических прогнозов

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.05.01 Численные модели атмосферы

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки

05.03.05 Прикладная гидрометеорология

Направленность (профиль)
«Прикладная метеорология»

Уровень:
Бакалавриат

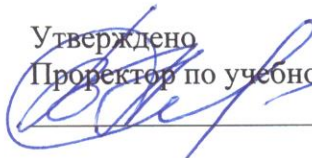
Форма обучения
Заочная

Согласовано
Руководитель ОПОП



Волобуева О.В.

Утверждено
Проректор по учебной работе

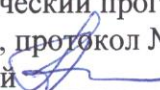


Н.О. Верещагина

Рекомендована решением
Ученого совета метеорологического факультета
09.06.2025, протокол №9

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
метеорологический прогнозов

12.05.2025 г., протокол №11

Зав. кафедрой  Анискина О.Г.

Автор-разработчик:
к.ф.м.н. О.Г. Анискина

Санкт-Петербург
2025

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – сформировать профессиональную компетенцию, а также необходимый объём знаний, умений и навыков, необходимых для использования современных компьютерных технологий при численном моделировании атмосферных процессов, обработке и анализе результатов модельных расчётов, а также умеющих применять достижения современных компьютерных технологий при составлении прогнозов погоды разного пространственно-временного разрешения.

Задачи:

- ~ 1. Сформировать знание:
 - современных компьютерных технологий, применяемых для численного моделирования атмосферных процессов,
 - общетеоретических основ построения и использования численных моделей атмосферы,
 - методов решения профессиональных задач прогноза погоды, мезомасштабного моделирования и климатических расчётов с использованием численных моделей.
- ~ 2. Сформировать умение:
 - формализовывать задачи, возникающие при численном моделировании атмосферы,
 - разрабатывать алгоритмы и выбирать методы решения профессиональных задач с использованием численных моделей атмосферы,
 - настраивать и проводить вычислительные эксперименты.
- ~ 3. Сформировать владение
 - методами работы с метеорологическими данными в форматах GRIB/NetCDF для подготовки входных полей и анализа выходных данных численных моделей,
 - методами использования современного программного обеспечения (WRF, Python с библиотеками numpy/xarray/cartopy) для решения задач прогнозирования и исследования атмосферных процессов.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части основной профессиональной образовательной программы, изучается в 7 семестре для освоения профессиональных компетенций.

Изучению предшествуют следующие дисциплины:

«Физика», «Математика», «Иностранный язык», «Введение в метеорологическую специальность», «Статика и термодинамика атмосферы», «Радиация в атмосфере», «Введение в метеорологическую специальность», «Прикладная математика», «Прикладная физика», «Теоретическая механика», «Общая метеорология».

Изучается параллельно в 7 семестре с такими дисциплинами как:

«Геоинформационные системы в метеорологии», «Цифровые методы обработки спутниковой информации», «Искусственный интеллект в метеорологии», «Методы и средства контроля загрязнения атмосферы», «Космическая метеорология», «Методы зондирования окружающей среды».

Дисциплина необходима для изучения дисциплин:

«Практическая метеорология», «Метеорологическое обеспечение полётов», при прохождении практик, написании выпускной квалификационной работы бакалавра.

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:
ПК-1

Таблица 1. Компетенции

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения
ПК-1. способен применять современные методы зондирования, современные и спутниковые технологии для получения и обработки гидрометеорологической информации	ПК-1.1. знать современные методы активного и пассивного зондирования атмосферы, принципы работы численных моделей, ГИС, нейронных сетей, цифровые методы обработки спутниковой и радиолокационной информации	Знать: - современные компьютерные технологии, применяемых для численного моделирования атмосферных процессов, - общетеоретические основы построения и использования численных моделей атмосферы, - методы решения профессиональных задач прогноза погоды, мезомасштабного моделирования и климатических расчётов с использованием численных моделей. Уметь: - формализовывать задачи, возникающие при численном моделировании атмосферы, - разрабатывать алгоритмы и выбирать методы решения профессиональных задач с использованием численных моделей атмосферы, - настраивать и проводить вычислительные эксперименты. Владеть: - методами работы с метеорологическими данными в форматах GRIB/NetCDF для подготовки входных полей и анализа выходных данных численных моделей, - методами использования современного программного обеспечения (WRF, Python с библиотеками numpy/xarray/cartopy) для решения задач прогнозирования и исследования атмосферных процессов.
	ПК-1.2. уметь применять геоинформационные системы, нейросетевые алгоритмы и методы компьютерного зрения для обработки спутниковых данных, оценивать качество и достоверность полученной информации	
	ПК-1.3. владеть навыками работы с базами спутниковых и радиолокационных данных, методами дешифрирования и интерпретации результатов зондирования, технологиями контроля загрязнения атмосферы	

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет: 4 зачетные единицы, 144 академических часов.

Таблица 2. Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах

Объём дисциплины	Заочная форма обучения
------------------	------------------------

	Семестр	Итого
	7 семестр	
Зачётные единицы	4	4
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	17,16	17,16
в том числе:	-	-
☐ лекции	6	8
☐ занятия семинарского типа:	10	10
☐ практические занятия	-	-
☐ лабораторные занятия	10	10
Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:	126,84	126,84
в том числе:	-	-
☐ курсовая работа	-	-
☐ контрольная работа	-	-
Контроль:	1,16	1,16
в том числе:		
текущий контроль успеваемости	1,0	1,0
промежуточная аттестация	0,16	0,16
Всего часов:	144	144
Вид промежуточной аттестации	Зачет с оценкой	Зачет с оценкой

4.2. Структура дисциплины

Таблица 3. Структура дисциплины

№	Тема дисциплины	Виды учебной работы, в том числе самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
		Лекции	Лабораторные занятия	СРС			
7 семестр							
1	Тема 1. Введение: Основные понятия численного моделирования атмосферы	0	0	6,84	Электронное тестирование в moodle	ПК-1	ПК-1-1
2	Тема 2. Уравнения гидродинамики атмосферы	2	0	12	Фронтальный опрос на лекции	ПК-1	ПК-1-1
3	Тема 3. Методы дискретизации и конечно-разностные схемы	0	2	12	Представление результатов выполнения лабораторных работ № 1, 2 (в письменном виде)	ПК-1	ПК-1-1
4	Тема 4. Спектральные методы и полулагранжев подход	0	2	18	Представление результатов выполнения практических работ № 3 (в письменном виде)	ПК-1	ПК-1-1
5	Тема 5. Параметризация	2	2	16	Фронтальный опрос на лекции, представление	ПК-1	ПК-1-1, ПК-1-2

	физических процессов				результатов выполнения лабораторной работы № 4 (в письменном виде)		ПК-1-3
Текущий контроль успеваемости -1,0							
6	Тема 6. Глобальные и региональные модели. Усвоение данных	2	2	12	Представление результатов выполнения лабораторной работы № 5 (в письменном виде)	ПК-1	ПК-1-1, ПК-1-2, ПК-1-3
7	Тема 7. Современные прогностические численные модели	0	2	12	Представление результатов выполнения лабораторной работы № 6 (в письменном виде)	ПК-1	ПК-1-1, ПК-1-2, ПК-1-3
Промежуточная аттестация – 0,16							
	Итого	6	10	126,84			
Всего: 144							

4.3. Содержание тем дисциплины

Таблица 4. Содержание тем дисциплины

№	Наименование темы дисциплины	Содержание	Компетенция
1	Тема 1. Введение: Основные понятия численного моделирования атмосферы	Роль численного моделирования в метеорологии и климатологии. Классификация моделей (глобальные, региональные, LES, климатические). Исторический обзор: от первых прогнозов Ричардсона до современных систем.	ПК-1
2	Тема 2. Уравнения гидродинамики атмосферы	Полная система уравнений Навье–Стокса для сжимаемой стратифицированной атмосферы. Уравнения движения, неразрывности, теплопритоков, влаги. Приближения: гидростатическое, негидростатическое, приближение Буссинеска. Системы координат (географическая, σ -координата, декартовая, гибридная, изоэнтропическая). Уравнение состояния.	ПК-1
3	Тема 3. Методы дискретизации и конечно-разностные схемы	Понятие сетки и аппроксимации производных. Явные и неявные схемы. Устойчивость (критерий Куранта–Фридрихса–Леви). Схемы для уравнения переноса: направленные разности, схема Лакса–Вендроффа, TVD-схемы. Сетки Аракавы (A–E) для метеорологических переменных. Метод расщепления.	ПК-1
4	Тема 4. Спектральные методы и полулагранжев подход	Разложение полей в ряды по сферическим гармоникам (глобальные модели). Эффективность и проблема преобразований (метод трансформации). Полулагранжева схема переноса: характеристические кривые, интерполяция, устойчивость и крупный шаг по времени. Комбинированные схемы.	ПК-1
5	Тема 5. Параметризация физических процессов	Проблема подсеточных масштабов. Планетарный пограничный слой: параметризации турбулентности (К-теория, ТКЕ-модели). Параметризация конвекции (схемы Кумджи, Беттса–Миллера). Микрофизика облаков (схемы Линь–Тао–Симпсона, Моррисона, одно- и двухмоментные). Коротковолновая и	ПК-1

		длинноволновая радиация (схемы RRTMG). Подстилающая поверхность (NOAH, CLM). Взаимодействие атмосферы и суши/океана.	
6	Тема 6. Глобальные и региональные модели. Усвоение данных	Обзор современных моделей: ПЛАН, GFS, ECMWF-IFS, ICON, WRF, ARPEGE. Региональное ограничение (Ограниченные области – LAM). Задание боковых граничных условий. Принципы усвоения данных: оптимальная интерполяция, 3D/4D-Vар, ансамблевый фильтр Калмана. Источники входных данных (GFS, ERA5, радары, спутники).	ПК-1
7	Тема 7. Современные прогностические численные модели	Общая архитектура моделей (препроцессор, «решатель», постпроцессор). Настройка доменов, физических опций, начальных и граничных условий. Запуск модели. Визуализация средствами NCL, GrADS или Python (xarray/cartopy). Анализ ошибок.	ПК-1

4.4. Содержание занятий семинарского типа

Таблица 5. Содержание лабораторных занятий

№	№ темы дисциплины	Тематика лабораторных занятий	Всего часов	В том числе часов самостоятельной подготовки
1	3	Лабораторная работа № 1. Решение одномерное уравнения переноса.	12	12
2	3	Лабораторная работа № 2. Дискретизация системы уравнений мелкой воды	14	12
3	4	Лабораторная работа № 3. Спектральный метод на примере одномерного уравнения	16	14
4	5	Лабораторная работа № 4 Параметризация планетарного пограничного слоя	16	14
5	6	Лабораторная работа № 5. Работа с данными реанализа	14	12
6	7	Лабораторная работа № 6. Постобработка и визуализация результатов численной модели WRF	16	14
Всего:			88	78

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

Электронный учебный курс «Численные модели атмосферы» в системе Moodle [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moodle.rshu.ru/course/view.php?id=4628>

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

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале.

Таблица 7. Учёт успеваемости обучающегося по дисциплине

Учет успеваемости	Количество баллов
– Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр	100

– Максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля:	100
в том числе максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации	20

6.1. Текущий контроль

Задания, методика выполнения и критерии оценивания текущего контроля по разделам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

6.2. Промежуточная аттестация

Перечень вопросов и критерии оценивания ответов на вопросы в билете по темам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: зачет.

Форма проведения зачета: устный ответ на один вопрос в билете.

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 8. Распределение баллов по видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Текущий контроль:	0-100
в том числе промежуточная аттестация	0-20
Итого:	100

Таблица 8.1. Распределение баллов по текущему контролю

№	Вид работ	Min	Max
1.	Обязательная часть		
1.1	Текущий контроль успеваемости по проверке сформированности знаний	2	4
1.1.1	Тестирование (минимальное количество баллов за 30-49% правильных ответов, максимальное количество баллов за >85% правильных ответов)	2	4
1.2	Выполнение лабораторных работ	18	36
1.2.1	Лабораторная работа № 1. Решение одномерное уравнения переноса	3	6
1.2.2	Лабораторная работа № 2. Дискретизация системы уравнений мелкой воды	3	6
1.2.3	Лабораторная работа № 3. Спектральный метод на примере одномерного уравнения	3	6
1.2.4	Лабораторная работа № 4 Параметризация планетарного пограничного слоя	3	6
1.2.5	Лабораторная работа № 5 Работа с данными реанализа	3	6
1.2.6	Лабораторная работа № 6 Постобработка и визуализация результатов численной модели WRF	3	6
Итого баллов по обязательной части		20	40
2.	Вариативная часть		
2.1	Тест (базовый уровень сложности)	10	25
2.1.1	Тест на тему «Уравнения гидротермодинамики атмосферы и системы координат»	2	5
2.1.2	Тест на тему «Конечно-разностные методы аппроксимации и устойчивость разностных схем»	2	5
2.1.3	Тест на тему «Спектральные и полулагранжевы методы в моделях атмосферы»	2	5
2.1.4	Тест на тему «Параметризация подсеточных физических процессов (турбулентность, конвекция, радиация, микрофизика)»	2	5
2.1.5	Тест на тему «Практическая работа с численной моделью WRF: настройка, запуск, визуализация и анализ результатов»	2	5
2.2	Решение профессиональных задач	20	40
2.2.1	Решение профессиональной задачи «Разработка конечно-разностной схемы для моделирования переноса примеси в атмосфере»	5	10
2.2.2	Решение профессиональной задачи «Выбор и обоснование параметризации	5	10

	конвекции для мезомасштабной модели»		
2.2.3	Решение профессиональной задачи «Подготовка начальных и граничных условий для региональной модели WRF»	5	10
2.2.4	Решение профессиональной задачи «Верификация численного прогноза приземной температуры на основе данных метеостанций»	5	10
2.3	Участие в олимпиаде по компьютерным технологиям:		10
2.4.1	участник внутривузовской олимпиады		1
2.3.2	призер внутривузовской олимпиады		5
2.3.3	участие в межвузовской олимпиаде		2
2.3.4	призер межвузовской олимпиады		10
2.3.5	призер национальной олимпиады		20
3.1	Участие в стартап-проекте, связанном с компьютерными технологиями		10
3.2	Участие в акселерационной программе университета / конкурсе грантов Росмолодежи с проектом, связанным с компьютерными технологиями		10
3.2.1	участие		10
3.2.2	победа		20
Итого баллов по вариативной части		20	60
4.1	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	20
Итого баллов по дисциплине		40	100

Таблица 8.2. Конвертация баллов в итоговую оценку

Оценка	Баллы
Зачтено (отлично)	85-100
Зачтено (хорошо)	65-84
Зачтено (удовлетворительно)	40-64
Не зачтено (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 и промежуточной аттестации представлены в Методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины «Численные модели атмосферы».

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Толстых М. А. Математическое моделирование атмосферы и численный прогноз погоды : учебное пособие / М. А. Толстых ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). — Москва : МФТИ, 2023. — 83 с.
2. Пьянков Е. А. Численные модели в метеорологии : учебное пособие / Е. А. Пьянков, А. Н. Шихов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Пермский государственный национальный исследовательский университет. — Пермь : ПГНИУ, 2019. — 127 с
3. Курганский М. В. Лекции по гидроаэродинамике : учебное пособие / М. В. Курганский. — Москва : Физический факультет МГУ, 2023. — 176 с.

Дополнительная литература

1. Дикий Л. А. Лекции по динамической метеорологии / Л. А. Дикий. — Москва : Физматкнига, 2023. — 80 с. — ISBN 978-5-89155-373-6.

2. Блохина Н. С. Система океан – атмосфера – суша – криосфера : курс лекций / Н. С. Блохина ; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва : МГУ, 2023. – 98 с. – (Физический факультет). – ISBN 978-5-19-011827-4.

3. Юшков В. П. Физика атмосферных процессов : учебный курс / В. П. Юшков ; Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Москва : МГУ, 2023. – 112 с. – ISBN 978-5-19-011826-7.

4. Семёнов В. А. Численное моделирование климата : учебное пособие / В. А. Семёнов, Е. А. Дюкова ; Институт географии РАН, МГУ. – Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2022. – 215 с. – ISBN 978-5-907533-41-3.

5. Аргучинцев В. К. Численные методы в задачах динамики атмосферы и океана / В. К. Аргучинцев, А. П. Макогонова. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2024. – 204 с. – ISBN 978-5-9624-2285-3.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

1. Электронный ресурс: Гидрометцентр РФ. Режим доступа - <https://meteoinfo.ru/>

2. Образовательная платформа Нетология [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://netology.ru/>

3. Образовательная платформа Яндекс Практикум [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://practicum.yandex.ru/>

4. Образовательная платформа Skillbox [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://skillbox.ru/>

5. Образовательная платформа SkillFactory [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://skillfactory.ru/>

6. Образовательная платформа Открытое образование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://openedu.ru/>

7. Образовательная платформа Лекториум [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lektorium.tv/>

8.3. Перечень программного обеспечения

1. office 2010 49671955 01.02.2012
2. windows 7 48130165 21.02.2011
3. GNU Fortran - компилятор (свободно распространяемое программное обеспечение).

4. 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>

3. Электронный каталог Научной библиотеки РРГМУ. Режим доступа: <http://elib.rshu.ru>

4. Электронный каталог библиотеки РНБ. Режим доступа: https://nlr.ru/nlr_visit/RA1812/elektronnyie-katalogi-rnb

5. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн». Режим доступа <https://biblioclub.ru/>

6. Электронная образовательная платформа «Юрайт» <https://urait.ru/>

7. Электронная библиотечная система elibrary. Режим доступа <https://elibrary.ru>

8. Электронная научная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>

8.5. Перечень профессиональных баз данных

1. База данных исследований Центра стратегических разработок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.csr.ru/ru/research/>
2. База данных международных индексов научного цитирования Scopus [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.scopus.com/>
3. База данных международных индексов научного цитирования Web of Science [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://webofscience.com/>
4. База данных НП «Международное Исследовательское Агентство «Евразийский Монитор» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eurasiamonitor.org/issliedovaniia>
5. База книг и публикаций электронной библиотеки «Наука и Техника» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://n-t.ru/>
6. Базы данных официальной статистики Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistic>
7. Электронная библиотечная система «Znaniy» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://znaniy.ru/>
8. Электронная библиотечная система «Юрайт» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://urait.ru/>
9. Электронная научная библиотека «Elibrary» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/>
10. Электронная научная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>

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 программам 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.

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на 2026/2027 учебный год без изменений.

Протокол заседания кафедры метеорологических прогнозов от 27 августа 2026 № 1