

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

Кафедра Метеорологических прогнозов

Рабочая программа по дисциплине

**АССИМИЛЯЦИЯ ДАННЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ  
МОДЕЛЯМИ АТМОСФЕРЫ**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы магистратуры по направлению  
подготовки

**05.04.05«Прикладная гидрометеорология»**

Направленность (профиль):  
**Моделирование атмосферных процессов**

Уровень:  
**Магистратура**

Форма обучения  
**Очная**

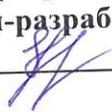
Согласовано  
Руководитель ОПОП  
«Моделирование атмосферных  
процессов»

 Анискина О.Г.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета  
\_19\_ мая \_\_\_\_\_ 2021 г., протокол № \_8\_

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры  
\_4\_ мая \_\_\_\_\_ 2021 г., протокол № \_9\_  
Зав. кафедрой  Анискина О.Г.  
Авторы-разработчики:

 Ермакова Т.С.

## 1. Цель и задачи освоения дисциплины

**Цель** освоения дисциплины – познакомить обучающихся с принципами совместного использования результатов измерений и моделирования, способных грамотно использовать как результаты моделирования, так и наблюдения.

### Задачи:

- освоение математических основ методов пространственной интерполяции гидрометеорологических данных,
- освоение статистической структуры гидрометеорологических полей,
- освоение численных методов объективного сравнения результатов измерений и моделирования,
- освоение методов инициализации гидродинамических моделей атмосферы.

## 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Ассимиляция данных гидродинамическими моделями атмосферы» для направления подготовки 05.04.05 – Прикладная гидрометеорология, профиль – Моделирование атмосферных процессов относится к вариативной части ОПОП, читается на 3 семестре для очной формы обучения.

Для освоения данной дисциплины обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Моделирование микроклиматических процессов», «Моделирование взаимодействия океана и атмосферы», «Моделирование природных процессов в атмосфере».

Успешное освоение данной дисциплины послужит основой для освоения следующих дисциплин: «Атмосферные процессы и возможности их модификации», «Обработка данных метеорологических измерений для математического моделирования атмосферных процессов», «Гидродинамические модели атмосферы».

## 3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:  
ПК-3.1, ПК-3.2

Таблица 1.

### Профессиональные компетенции

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Результаты обучения
ПК-3 Способен анализировать комплекс физических процессов, приводящих к возникновению разномасштабных явлений в атмосфере, в том числе с целью их прогнозирования	ПК-3.1 Осуществляет подготовку начальных данных для исследования	<b>Знать:</b> - методы математического описания фундаментальных законов; - методы численного решения уравнений в частных производных; <b>Уметь:</b> - разрабатывать алгоритмы усвоения данных

		<p>гидродинамическими моделями атмосферы;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать оптимальные схемы ассимиляции гидрометеорологических данных.</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами подготовки начальных данных для численного моделирования.</li> </ul>
	<p><i>ПК-3.2 Проводит численные эксперименты, анализирует их результаты</i></p>	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы параметризации процессов подсеточного масштаба;</li> <li>- методы решения систем алгебраических уравнений.</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатывать методологию модельных численных экспериментов;</li> <li>- анализировать результаты модельных экспериментов.</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами модельной ассимиляции гидрометеорологических данных, повышающих качество моделирования атмосферных процессов.</li> </ul>

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа.

Таблица 2.

Объем дисциплины по видам учебных занятий в академических часах  
2021 года набора

Объём дисциплины	Всего часов
<b>Объем дисциплины</b>	
<b>Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b>	<b>56</b>
в том числе:	-
лекции	<b>28</b>
занятия семинарского типа:	

практические занятия	28
лабораторные занятия	
<b>Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:</b>	<b>88</b>
в том числе:	-
курсовая работа	
контрольная работа	
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	<b>экзамен</b>

#### 4.2. Структура дисциплины

Таблица 3.

Структура дисциплины для очной формы обучения  
2021 года набора

№	Раздел / тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Практические занятия	СРС			
1	Методы пространственной интерполяции гидрометеорологических данных	3	2	-	5	Опрос на лекции.	ПК-3	ПК-3.1
2	Объективное сравнение результатов моделирования и наблюдений	3	2	2	5	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1
3	Метод последовательных приближений	3	2	4	5	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
4	Статистическая структура метеорологических полей	3	2	-	5	Опрос на лекции.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
5	Статистическая интерполяция гидрометеорологических данных	3	2	4	7	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
6	Одновремен-	3	2	-	7	Опрос на	ПК-3	ПК-3.1

	ная интерполяция нескольких метеорологических переменных					лекции.		ПК-3.2
7	Вероятностные методы ассимиляции данных	3	2	4	7	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
8	Дискретные и непрерывные методы ассимиляции данных	3	2	4	7	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
9	Использование фоновых оценок для ассимиляции гидрометеорологических данных	3	2	-	7	Опрос на лекции.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
10	Методы обновления фоновой информации при ассимиляционном цикле	3	2	-	7	Опрос на лекции.	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
11	Проблема инициализации гидродинамических моделей	3	2	4	7	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1
12	Использование методов релаксации для ассимиляции гидрометеорологической информации	3	2	4	7	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
13	Ре-анализ гидрометеорологических данных	3	2	4	7	Контрольно-расчетное задание. Опрос по результатам	ПК-3	ПК-3.1 ПК-3.2
14	Перспективы развития методов модельной ассимиляции результатов наблюдений.	3	2	-	5	Опрос на лекции.	ПК-3	ПК-3.1

	<b>ИТОГО</b>	-	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>88</b>	-	-	-
--	--------------	---	-----------	-----------	-----------	---	---	---

### **4.3. Содержание разделов/тем дисциплины**

#### **4.3.1 Методы пространственной интерполяции гидрометеорологических данных**

Проблема прогноза погоды как детерминистская задача с начальными условиями. Организация системы наблюдений. Анализ результатов наблюдений как подготовка к прогностической части. Значение пространственного анализа полей гидрометеорологических данных. Линейные и нелинейные методы интерполяции. Интерполяция с использованием базисных функций. Сплайн интерполяция.

#### **4.3.2 Объективное сравнение результатов моделирования и наблюдений**

Соотносимость результатов наблюдений и моделирования. Ошибки наблюдений и моделирования. Сравнение ошибок наблюдений и моделирования. Последовательная ассимиляция результатов измерений. Базовое уравнение обновления результатов моделирования с учетом результатов измерений на основе сравнения ошибок наблюдений и моделирования.

#### **4.3.3 Метод последовательных приближений**

Использование предварительной информации для ассимиляции и ее последовательное уточнение на основе анализа данных измерений. Использование в качестве первого приближения климатологических значений, прогноза с предыдущего модельного шага и их комбинации. Последовательное уточнение результатов ассимиляции.

#### **4.3.4 Статистическая структура метеорологических полей**

Пространственные и временные связи между метеорологическими переменными. Ошибки наблюдений и моделирования. Связи между ошибками и ковариационные матрицы ошибок. Методы определения ковариационных матриц.

#### **4.3.5 Статистическая интерполяция гидрометеорологических данных**

Постановка задачи статистической интерполяции. Использование априорных и апостериорных весов. Проблема минимизации матрицы ошибок. Ошибка анализа в статистической интерполяции.

#### **4.3.6 Одновременная интерполяция нескольких метеорологических переменных**

Задача оптимального оценивания нескольких метеорологических переменных. Матричная реализация алгоритма оптимальной интерполяции нескольких метеорологических переменных.

#### **4.3.7 Вероятностные методы ассимиляции данных**

Вероятностный подход к ассимиляции данных. Проблема нахождения минимальных и максимальных значений быстроменяющихся функций. Постановка задачи

вариационной ассимиляции данных. Построение функционалов качества применительно к проблеме инициализации атмосферных моделей.

#### **4.3.8 Дискретные и непрерывные методы ассимиляции данных**

Проблема несовпадения времени измерений и результатов моделирования. Окно ассимиляции. Учет изменения ассимилируемой величины в течение цикла ассимиляции. Четырехмерные методы ассимиляции данных.

#### **4.3.9 Использование фоновых оценок для ассимиляции гидрометеорологических данных**

Проблема соотношения точности измерений и моделирования. Фоновые оценки связей между метеорологическими величинами. Роль корректной оценки фоновых ошибок.

#### **4.3.10 Методы обновления фоновой информации при ассимиляционном цикле**

Влияние изменчивости фоновых оценок на качество ассимиляции метеорологических данных. Концепция обновления фоновых оценок в процессе ассимиляции. Методы использования результатов ассимиляции для обновления ковариационных матриц фоновых ошибок.

#### **4.3.11 Проблема инициализации гидродинамических моделей**

Пространственные и временные масштабы атмосферных процессов. Синоптические и планетарные процессы в проблеме ассимиляции атмосферных данных. Проблема фильтрации шумов в ассимиляционных моделях.

#### **4.3.12 Использование методов релаксации для ассимиляции гидрометеорологической информации**

Анализ различий между результатами измерений и моделирования. Физический подход к оценке различий измерений и расчетов. Корректировка уравнений модели с учетом измерений.

#### **4.3.13 Ре-анализ гидрометеорологических данных**

Применение методов ассимиляции для оперативного прогноза погоды и ретроспективных расчетов. Особенности ассимиляции данных наблюдений при ретроспективных расчетах. Преимущества ре-анализа по сравнению с модельными расчетами без ассимиляции результатов наблюдений. Погрешности и неточности данных ре-анализа. Существующие базы данных ре-анализа ERA-Interim, MERRA, JRA, MetOffice b lh/

#### **4.3.14 Перспективы развития методов модельной ассимиляции результатов наблюдений**

Методы ассимиляции в оперативных моделях прогноза погоды. Вычислительные сложности использования методов ассимиляции. Ансамблевые подходы к оценкам результатов моделирования. Перспективные методы ассимиляции гидрометеорологической информации.

#### 4.4. Содержание занятий семинарского типа

Таблица 3.

Содержание практических занятий для очной формы обучения

№ темы дисциплины	Тематика практических занятий	Всего часов	В том числе часов практической подготовки
1	Линейная интерполяция метеорологических полей	4	4
2	Квадратичная интерполяция метеорологических полей	4	4
3	Интерполяция метеорологических полей сплайнами	4	4
4	Полиномиальная интерполяция метеорологических полей	4	4
5	Оптимальная интерполяция метеорологических полей	4	4
6	Метод наискорейшего спуска для метеорологических полей	4	4
7	Применение фильтра Калмана для метеорологических полей	4	4

#### 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 - 70;
- максимальное количество баллов за посещение лекционных занятий - 9;
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации - 21.

##### 6.1. Текущий контроль

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

##### 6.2. Промежуточная аттестация

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

Форма проведения экзамена: устно по билетам

**Перечень вопросов для подготовки к экзамену:**

ПК-3.1

1. Концепция и задачи модельной ассимиляции данных;
2. Субъективный анализ метеорологических полей и первые шаги развития объективного анализа;
3. Ассимиляции данных как часть прогностической системы;
4. Среднеквадратические оценки в метеорологии;
5. Итерационный цикл в методе последовательных уточнений;
6. Однокомпонентная оптимальная интерполяция;
7. Ошибка анализа в оптимальной интерполяции;
8. Безразмерная форма уравнений оптимальной интерполяции;
9. Метод оптимальной интерполяции для однородных условий и независимых измерений;
10. Сравнение разных случаев двух наблюдений в оптимальной интерполяции;
11. Обобщенный алгоритм оптимальной интерполяции;
12. Статистические характеристики метеорологических полей;
13. Метод наблюдений для определения ковариационных матриц;
14. Методы определения ковариационных матриц по результатам моделирования;
15. Двухкомпонентная оптимальная интерполяция в точке;
16. Векторная двухкомпонентная оптимальная интерполяция;
17. Многокомпонентная оптимальная интерполяция;

ПК-3.2

1. Линейная и квадратичная интерполяция функции, заданной в узлах;
2. Интерполяция сплайнами;
3. Локальная полиномиальная аппроксимация метеополей;
4. Многомерная интерполяция с разложением по базисным функциям
5. Метод динамической релаксации (nudging);
6. Метод последовательных уточнений;
7. Применение оптимальной интерполяции к случаю сети скученных станций;
8. Вероятностный подход к ассимиляции данных;
9. Постановка задачи вариационной ассимиляции данных;
10. Эквивалентность оптимальной интерполяции и вариационного анализа;
11. Постановка задачи трехмерного вариационного анализа;
12. Использование метода наискорейшего спуска для минимизации функционала качества
13. Поиск направления на минимум при минимизации функционала качества в трехмерном вариационном анализе
14. Постановка задачи четырехмерной ассимиляции;
15. Функционал качества в четырехмерной ассимиляции;
16. Минимизация функционала качества четырехмерной вариационной ассимиляции;
17. Оценка градиента функционала качества в четырехмерном анализе;
18. Задача ассимиляции как проблема фильтрации;
19. Формулировка алгоритма фильтра Калмана для ассимиляции г/м полей.
20. Расширенный фильтр Калмана; Схема организации вычислений в фильтре Калмана;
21. Ансамблевый фильтр Калмана.

## Курсовая работа

Выполнение курсовой работы дисциплиной не предусмотрено.

### 6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 4.

Распределение баллов по видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Посещение лекционных занятий	0-9
Опрос на лекциях	0-28
Контрольное расчётное задание №1	0-6
Контрольное расчётное задание №2	0-6
Контрольное расчётное задание №3	0-6
Контрольное расчётное задание №4	0-6
Контрольное расчётное задание №5	0-6
Контрольное расчётное задание №6	0-6
Контрольное расчётное задание №7	0-6
Промежуточная аттестация	0-21
<b>ИТОГО</b>	<b>0-100</b>

Минимальное количество баллов для допуска до промежуточной аттестации составляет 40 баллов при условии выполнения всех видов текущего контроля.

Таблица 5.

Балльная шкала итоговой оценки на зачете

Оценка	Баллы
Зачтено	40-100
Незачтено	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 «Ассимиляция данных гидродинамическими моделями атмосферы».

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

#### Основная

1. Evensen G. Data assimilation: The ensemble Kalman filter. Berlin: Springer, 2007.
2. Kalnay E. Atmospheric Modeling. Data Assimilation and Predictability. Cambridge University Press, 2003.
3. Смышляев С.П. Методические указания по дисциплине «Ассимиляция гидрометеорологических данных». Издательство РГГМУ. 2016. – 22 стр.

#### Дополнительная литература

1. Daley R. Atmospheric data analysis – Cambridge University Press, 1992
2. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я.. Климатическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеоздат, 1978. – 296 с.

3. Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Книга 1. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. – 340 с.
4. Гандин Л.С., Каган Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 360 с.

## **8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"**

<http://hfip.psu.edu/EDA2010/>  
<http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model/weather-forecasting>  
<http://www.ecmwf.int/>  
<https://mipt.ru/education/chair/mathematics/upload/99f/alsaasimulation.pdf>

## **8.3. Перечень программного обеспечения**

1. Excel
2. Fortran

## **8.4. Перечень информационных справочных систем**

1. Библиотека РГГМУ

## **8.5. Перечень профессиональных баз данных**

Профессиональные базы данных не используются

## **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

**Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования, обеспечивающим 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

**Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

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

**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