

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

**Рабочая программа дисциплины  
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОСТАВА  
АТМОСФЕРЫ**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования по направлению подготовки

**05.03.05 «Прикладная гидрометеорология»**

Направленность (профиль):  
**Прикладная метеорология**

Уровень:  
**Бакалавриат**

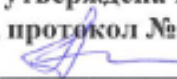
Форма обучения  
**Очная/заочная**

Согласовано  
Руководитель ОПОП

 Волобуева О.В.

Утверждаю  
Председатель УМС  И.И. Палкин

Рекомендована решением  
Учебно-методического совета  
\_\_19\_\_ мая \_\_\_\_2021 г., протокол № \_\_8\_\_

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры  
04 мая 2021 г., протокол № 9  
Зав. кафедрой  Анискина О.Г.

Авторы-разработчики:  
 Ермакова Т.С.

## 1. Цель и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» - освоение обучающимися принципов построения и функционирования гидродинамических моделей атмосферы, способных создавать гидродинамические модели атмосферных процессов и грамотно использовать результаты моделирования.

### Задачи:

- освоение физических основ построения гидродинамических моделей атмосферы;
- освоение теоретических принципов разработки и функционирования гидродинамических моделей атмосферы;
- освоение численных методов решения уравнений гидродинамики атмосферы.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология, профиль – Прикладная метеорология относится к дисциплинам по выбору Б1.В.ДВ.04.01 ОПОП, читается на 8 семестре для очной формы обучения, на 3 году для заочной формы обучения.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Теория климата», «Методы работы с метеорологическими базами данных», «Компьютерные технологии в метеорологических исследованиях».

Параллельно с дисциплиной «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы» изучаются: «Гидродинамическое моделирование атмосферных процессов», «Спутниковый диагноз атмосферных процессов».

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: ПК-5.1, ПК-5.2.

### Профессиональные компетенции

Таблица 1.

| Код и наименование профессиональной компетенции                                               | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции                                                                                                | Результаты обучения                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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 | <i>Знать:</i><br>– физическую и математическую постановку задачи гидродинамического моделирования атмосферных физических и химических процессов;<br>– системы координат, использующиеся в гидродинамическом моделировании;<br>– методы аппроксимации уравнений с помощью конечных разностей ; |

|  |                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |                                                                           | <p>– методы анализа конечно-разностных схем;</p> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разрабатывать алгоритмы гидродинамического моделирования состава атмосферы;</li> <li>- применять современные численные методы и другие количественные технологии в научных исследованиях и прогностических разработках по численному моделированию изменчивости состава атмосферы;</li> <li>- пользоваться численными моделями состава нижней и средней атмосферы;</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- современными методами численного прогноза газового и аэрозольного состава атмосферы;</li> <li>- способами учета взаимодействия физических и химических процессов в нижней атмосфере.</li> </ul>                                     |
|  | <p>ПК-5.2 Оценивает качество полученной метеорологической информации.</p> | <p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способы борьбы с вычислительными ошибками, возникающими при интегрировании уравнений гидротермодинамики атмосферы численными методами;</li> <li>– численные методы интегрирования уравнений гидродинамических моделей.</li> </ul> <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить численные эксперименты по моделированию изменчивости состава атмосферы;</li> <li>– анализировать результаты численных расчетов изменения состава атмосферы;</li> </ul> <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методикой обработки результатов гидродинамического моделирования;</li> <li>– методами визуализации результатов гидродинамического моделирования атмосферных процессов.</li> </ul> |

#### 4. Структура и содержание дисциплины

##### 4.1. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часа.

Таблица 2.

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

| Объём дисциплины                                                                                     | Всего часов          |                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|
|                                                                                                      | Очная форма обучения | Заочная форма обучения |
| <b>Объем дисциплины</b>                                                                              |                      |                        |
| <b>Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:</b> | <b>28</b>            | <b>12</b>              |
| в том числе:                                                                                         | -                    |                        |
| лекции                                                                                               | <b>14</b>            | <b>6</b>               |
| занятия семинарского типа:                                                                           |                      |                        |
| практические занятия                                                                                 |                      |                        |
| лабораторные занятия                                                                                 | <b>28</b>            | <b>6</b>               |
| <b>Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:</b>                                                 | <b>66</b>            | <b>96</b>              |
| в том числе:                                                                                         | -                    |                        |
| курсовая работа                                                                                      |                      |                        |
| контрольная работа                                                                                   |                      |                        |
| <b>Вид промежуточной аттестации</b>                                                                  | <b>экзамен</b>       | <b>экзамен</b>         |

##### 4.2. Структура дисциплины

Таблица 3.

Структура дисциплины для очной формы обучения  
2021 года набора

| № п/п    | Раздел и тема дисциплины                             | Семестр  | Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час. |                     |     | Формы текущего контроля успеваемости | Формируемые компетенции | Индикаторы достижения компетенций |
|----------|------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|--------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
|          |                                                      |          | Лекции                                                             | Лабораторные работы | СРС |                                      |                         |                                   |
| <b>1</b> | Атмосферные газы и аэрозоли и их экологическая роль. | <b>8</b> | 2                                                                  | 2                   | 6   | Опрос на лекции                      | ПК-5                    | ПК-5.1                            |

|   |                                                                                                                  |   |           |           |           |                                                                                               |      |                  |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------|
| 2 | Постановка задачи моделирования состава атмосферы                                                                | 8 | 2         | 4         | 10        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1           |
| 3 | Физические и химические процессы, влияющие на изменчивость содержания атмосферных газов и аэрозолей в атмосфере. | 8 | 2         | 4         | 10        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1<br>ПК-5.2 |
| 4 | Система уравнений баланса газовых примесей атмосферы                                                             | 8 | 2         | 4         | 10        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1<br>ПК-5.2 |
| 5 | Параметризация скоростей химических процессов в атмосфере.                                                       | 8 | 2         | 4         | 10        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1<br>ПК-5.2 |
| 6 | Роль атмосферного переноса в изменчивости состава атмосферы.                                                     | 8 | 2         | 4         | 10        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1<br>ПК-5.2 |
| 7 | Численные методы решения уравнений баланса атмосферных газов                                                     | 8 | 2         | 6         | 10        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1<br>ПК-5.2 |
|   | <b>ИТОГО:</b>                                                                                                    |   | <b>14</b> | <b>28</b> | <b>66</b> | -                                                                                             | -    |                  |

Таблица 4.

Структура дисциплины для заочной формы обучения  
2021 года набора

| №<br>п/п | Раздел и тема дисциплины         | Год | Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час. |                     |     | Формы текущего контроля успеваемости                  | Формируемые компетенции | Индикаторы достижения компетенций |
|----------|----------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-----|-------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
|          |                                  |     | Лекции                                                             | Лабораторные работы | СРС |                                                       |                         |                                   |
| 1        | Атмосферные газы и аэрозоли и их | 3   | 2                                                                  | 2                   | 32  | Опрос на лекции. Контрольное расчётное задание, опрос | ПК-5                    | ПК-5.1                            |

|   |                                                                       |   |   |   |           |                                                                                               |      |                  |
|---|-----------------------------------------------------------------------|---|---|---|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------|
|   | экологическая роль. Постановка задачи моделирования состава атмосферы |   |   |   |           | студентов по результатам контрольного расчетного задания                                      |      |                  |
| 2 | Система уравнений баланса газовых примесей атмосферы                  | 3 | 2 | 2 | 32        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1<br>ПК-5.2 |
| 3 | Численные методы решения уравнений баланса атмосферных газов          | 3 | 2 | 2 | 32        | Контрольное расчётное задание, опрос студентов по результатам контрольного расчетного задания | ПК-5 | ПК-5.1<br>ПК-5.2 |
|   | <b>ИТОГО:</b>                                                         |   | 6 | 6 | <b>96</b> | -                                                                                             | -    |                  |

### 4.3. Содержание разделов дисциплины

#### 4.3.1 Атмосферные газы и аэрозоли и их экологическая роль.

Малые газы нижней атмосферы. Их влияние на состав атмосферы, экологические проблемы с ними связанные. Пространственные и временные масштабы изменчивости малых газов нижней атмосферы. Особенности переноса малых газов в тропосфере. Методы изучения газового состава атмосферы.

#### 4.3.2 Постановка задачи моделирования состава атмосферы.

Аналитические и численные модели атмосферы. Ограниченность аналитических моделей состав атмосферы. Диагностические и прогностические модели состава атмосферы. Начальные условия для численных моделей состава атмосферы. Граничные условия для моделей состава атмосферы.

#### 4.3.3 Физические и химические процессы, влияющие на изменчивость содержания атмосферных газов и аэрозолей в атмосфере.

Физические и химические процессы, определяющие изменчивость малых газов в атмосфере. Взаимодействие и обратные связи между физическими и химическими процессами в атмосфере. Единицы измерений содержания малых газов в атмосфере. Проблема моделирования распределения и изменчивости малых газов в нижней атмосфере. Постановка задачи. Виды моделей.

#### 4.3.4 Система уравнений баланса газовых примесей атмосферы.

Фундаментальные законы физики как основа для уравнений баланса атмосферных примесей. Вывод уравнений баланса атмосферных примесей на основе закона сохранения массы. Уравнения баланса атмосферных примесей в потоковой и адвективной форме. Уравнение баланса атмосферных примесей в сферической системе координат.

#### 4.3.5 Параметризация скоростей химических процессов в атмосфере.

Применение принципов химической кинетики к моделированию изменчивости состава атмосферы. Столкновительная теория химических процессов в атмосфере. Химические реакции разного порядка. Параметризация скоростей бимолекулярных

химических реакций. Трехмолекулярные химические реакции в атмосфере. Реакции мономолекулярного распада в атмосфере. Создание сжатых схем химических реакций для зон с интенсивным загрязнением. Методы моделирования перераспределения атмосферных газов в региональном масштабе.

#### **4.3.6 Роль атмосферного переноса в изменчивости состава атмосферы.**

Горизонтальный перенос массы в атмосфере. Процессы, влияющие на глобальное перераспределение газов и аэрозолей. Методы моделирования глобального переноса. Проблема переноса массы через полюс и методы его моделирования.

#### **4.3.7 Численные методы решения уравнений баланса атмосферных газов.**

Конечно-разностная аппроксимация дифференциальных операторов моделей состава атмосферы. Аппроксимация пространственных операторов моделей состава атмосферы. Смешанная краевая задача состава атмосферы. Сведение смешанной краевой задачи к задаче с начальными данными (задаче Коши). Временные масштабы и времена жизни атмосферных газов. Метод шагов по времени.

### **4.4. Содержание занятий семинарского типа**

Таблица 5.

Содержание практических занятий для очной формы обучения

| <b>№ темы дисциплины</b> | <b>Тематика практических занятий</b>                                              | <b>Всего часов</b> | <b>В том числе часов практической подготовки</b> |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------|
| <b>1</b>                 | Аппроксимация производных и уравнений с частными производными.                    | 2                  | 2                                                |
| <b>2</b>                 | Решение уравнений химической кинетики.                                            | 4                  | 4                                                |
| <b>3</b>                 | Аппроксимация уравнений модели переноса газов в региональном масштабе.            | 4                  | 4                                                |
| <b>4</b>                 | Практическое использование оффлайн- и онлайн-схем моделирования качества воздуха. | 4                  | 4                                                |
| <b>5</b>                 | Схемы расщепления физических и химических процессов.                              | 4                  | 4                                                |
| <b>6</b>                 | Решение уравнений изменения состава атмосферы.                                    | 4                  | 4                                                |
| <b>7</b>                 | Моделирование взаимодействия физических и химических процессов в атмосфере.       | 6                  | 6                                                |

Таблица 6.

Содержание практических занятий для заочной формы обучения

| <b>№ темы дисциплины</b> | <b>Тематика практических занятий</b>                           | <b>Всего часов</b> | <b>В том числе часов практической подготовки</b> |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------|
| <b>1</b>                 | Аппроксимация производных и уравнений с частными производными. | 2                  | 2                                                |

|   |                                                |   |   |
|---|------------------------------------------------|---|---|
| 2 | Решене уравнений химической кинетики.          | 2 | 2 |
| 3 | Решение уравнений изменения состава атмосферы. | 2 | 2 |

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

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 - 7;
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации - 23.

### **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: письменно по билетам

#### **Перечень вопросов для подготовки к экзамену:**

##### ПК-5.1

1. Вычислить содержание атмосферных газов при заданных отношениях смеси.
3. Рассчитать скорость образования вторичных атмосферных газов при заданных концентрациях первичных и атмосферных газов?
5. Сравнить атмосферный перенос коротко и долгоживущих атмосферных примесей.

##### ПК-5.2

1. Оценить время жизни первичных атмосферных примесей.
2. Оценить вертикальное перемешивание атмосферных газов при заданных коэффициентах турбулентности.
3. Оценить скорость гравитационного осаждения аэрозольных частиц разных размеров.

### **Курсовая работа**

Выполнение курсовой работы дисциплиной не предусмотрено.

### **6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания**



Таблица 7.

## Распределение баллов по видам учебной работы

| Вид учебной работы, за которую ставятся баллы | Баллы        |
|-----------------------------------------------|--------------|
| Посещение лекционных занятий                  | 0-7          |
| Опрос на лекциях                              | 0-14         |
| Контрольное расчётное задание №1              | 0-8          |
| Контрольное расчётное задание №2              | 0-8          |
| Контрольное расчётное задание №3              | 0-8          |
| Контрольное расчётное задание №4              | 0-8          |
| Контрольное расчётное задание №5              | 0-8          |
| Контрольное расчётное задание №6              | 0-8          |
| Контрольное расчётное задание №7              | 0-8          |
| Промежуточная аттестация                      | 0-23         |
| <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 8.

## 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 «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы».

**8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

## 8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

**Основная**

1. Физика и химия атмосферы. Курс лекций. КОМФ УрГУ. 2012 - [ftp://remotesensing.ru/PhysChemAtm\\_lecture1.ppt](ftp://remotesensing.ru/PhysChemAtm_lecture1.ppt).
2. Алоян А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере – М.: Наука. – 2008. - 416 с.
3. Jacob D. Introduction to atmospheric chemistry. 4th Edition. 2011. – <http://acmg.seas.harvard.edu/people/faculty/djj/book/index.html>.
4. Flynn G. The kinetics of atmospheric ozone. Columbia University. 2012. - [http://www.columbia.edu/itc/chemistry/chem-c2407/hw/ozone\\_kinetics.pdf](http://www.columbia.edu/itc/chemistry/chem-c2407/hw/ozone_kinetics.pdf)

**Дополнительная литература**

1. Brasseur G., Orlando J.J., Tyndall G.S. Atmospheric chemistry and global change – Oxford University Press, 1999.
2. Seinfeld J. Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change. – J.Wiley & sons, Inc., New Jersey, USA, 2006.
3. Jacobson M.Z. Fundamentals of atmospheric modeling – Cambridge University Press, 2005. – 813 p.

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

1. <http://acmg.seas.harvard.edu/education.html>
2. <http://www.columbia.edu/itc/chemistry/chem-c2407/hw/>
3. [ftp://remotesensing.ru/PhysChemAtm\\_lecture1.ppt](ftp://remotesensing.ru/PhysChemAtm_lecture1.ppt)
4. <http://www.theozonehole.com/aboutus.htm>
5. <http://www.learner.org/courses/envsci/unit/text.php?unit=2&secNum=0>
6. [http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz\\_class.htm](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz_class.htm)
7. <http://rpw.chem.ox.ac.uk/atmos.html>

## **8.3. Перечень программного обеспечения**

1. Microsoft 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 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

**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