

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт экологии и природопользования



подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов М2.ДВ.1

Направление подготовки: 021600.68 - Гидрометеорология

Профиль подготовки: Метеорология

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Елисеев А.В.

**Рецензент(ы):**

Переведенцев Ю.П.

### **СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Переведенцев Ю. П.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_г

Учебно-методическая комиссия Института экологии и природопользования:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_г

Регистрационный No 212414

Казань  
2014

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) Елисеев А.В.

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "Устойчивость и предсказуемость процессов в атмосфере" являются:

- освоение учащимися понятий предсказуемости процессов с последующим применением для решения задач метеорологии, климатологии и экологии;
- приобретения навыков решения задач гидрометеорологии, климатологии и экологии с целью повышения предсказуемости соответствующих процессов.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " М2.ДВ.1 Профессиональный" основной образовательной программы 021600.68 Гидрометеорология и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 2 курсе, 3 семестр.

Дисциплина реализуется как вариативная в профессиональном цикле дисциплин (М2.ДВ1) на 6 курсе, в семестре В.

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

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции                        | Расшифровка приобретаемой компетенции                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ОК-3<br>(общекультурные компетенции)    | Знание современных компьютерных технологий и их самостоятельное использование для решения задач профессиональной деятельности и в новых областях знаний                                                                      |
| ПК-1<br>(профессиональные компетенции)  | Творческое использование знаний о современных проблемах гидрометеорологии в сфере профессиональной деятельности                                                                                                              |
| ПК-10<br>(профессиональные компетенции) | Владение современными методами обработки и интерпретации гидро-метеорологической информации при проведении проектно-производственных работ                                                                                   |
| ПК-11<br>(профессиональные компетенции) | Умение составлять оперативные гидрометеорологические прогнозы различной заблаговременности                                                                                                                                   |
| ПК-3<br>(профессиональные компетенции)  | Владение методологическими основами и подходами к решению теоретических проблем географии и гидрометеорологии                                                                                                                |
| ПК-4<br>(профессиональные компетенции)  | Глубокое понимание и творческое использование в научной деятельности знания фундаментальных и прикладных разделов специальных дисциплин ООП магистратуры                                                                     |
| ПК-5<br>(профессиональные компетенции)  | Умение анализировать, обобщать и систематизировать с применением современных компьютерных технологий результаты научно-исследовательских работ, имеющих гидрометеорологическую направленность                                |
| ПК-6<br>(профессиональные компетенции)  | Самостоятельное выполнение экспедиционных, лабораторных, вычислительных исследований в области гидрометеорологии при решении научно-исследовательских задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств |

| Шифр компетенции                       | Расшифровка приобретаемой компетенции                                    |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ПК-7<br>(профессиональные компетенции) | Умение разрабатывать прогнозы и выполнять гидрометеорологические расчёты |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:
  - степень предсказуемости атмосферных процессов.
2. должен уметь:
  - решать задачи гидрометеорологии, климатологии и экологии методами, обеспечивающими наибольшую предсказуемость процессов;
  - оценивать эффективность методов такого прогнозирования.
3. должен владеть:
  - практическими навыками подбора и построения прогностических моделей, обеспечивающих наилучшую предсказуемость.
4. должен демонстрировать способность и готовность:
  - Владеть основными компетенциями.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 3 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

| N  | Раздел Дисциплины/ Модуля                    | Семестр | Неделя семестра | Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах) |                      |                     | Текущие формы контроля             |
|----|----------------------------------------------|---------|-----------------|----------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|
|    |                                              |         |                 | Лекции                                                   | Практические занятия | Лабораторные работы |                                    |
| 1. | Тема 1. Вводная часть                        | 3       | 1,2             | 2                                                        | 0                    | 4                   | устный опрос                       |
| 2. | Тема 2. Устойчивость потоков в гидродинамике | 3       | 3-5             | 1                                                        | 0                    | 6                   | устный опрос<br>контрольная работа |

| N  | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля                                                  | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля             |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|
|    |                                                                                  |         |                    | Лекции                                                            | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                                       |
| 3. | Тема 3. Устойчивость<br>движений атмосферы                                       | 3       | 6-8                | 1                                                                 | 0                       | 6                      | устный опрос<br>контрольная<br>работа |
| 4. | Тема 4.<br>Предсказуемость<br>крупномасштабных<br>атмосферных<br>процессов       | 3       | 9,10               | 0                                                                 | 0                       | 6                      | устный опрос                          |
| 5. | Тема 5.<br>Самостоятельное<br>решение задач по<br>геофизической<br>гидродинамике | 3       | 10-13              | 0                                                                 | 0                       | 0                      | контрольная<br>работа                 |
|    | Тема . Итоговая<br>форма контроля                                                | 3       |                    | 0                                                                 | 0                       | 0                      | экзамен                               |
|    | Итого                                                                            |         |                    | 4                                                                 | 0                       | 22                     |                                       |

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Вводная часть

#### **лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Понятие устойчивости процессов и их предсказуемости. Показатели Ляпунова. Движения на аттракторе. Локальная и глобальная устойчивость. Примеры применения понятия устойчивости в механике, гидродинамике и физике.

#### **лабораторная работа (4 часа(ов)):**

Иллюстративная трёхмодовая модель Лоренца. Аттрактор Лоренца. Численное решение модели Лоренца для разных значений управляющих параметров модели и начальных условий (по группам). Понятие потенциальной предсказуемости первого и второго рода. Приложение этих понятий к иллюстративной модели Лоренца.

### Тема 2. Устойчивость потоков в гидродинамике

#### **лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Неустойчивость Кельвина и Гельмгольца. Устойчивость двумерного течения жидкости.

#### **лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Критерии устойчивости движения жидкости Куо, Рэлея, Майлса-Говарда и Фьортофта. Галёркинские приближения. Симметрии показателей Ляпунова. Решение задач на использование критериев устойчивости гидродинамических движений (по группам).

### Тема 3. Устойчивость движений атмосферы

#### **лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Статическая неустойчивость, баротропная неустойчивость и бароклиническая неустойчивость, их связь с неустойчивостью Кельвина и Гельмгольца.

#### **лабораторная работа (6 часа(ов)):**

Анализ особенностей движения жидкой частицы при развитии бароклинного возмущения. Сведение задачи развития бароклинного возмущения к задаче термической конвекции. Методы теоретического анализа бароклинной неустойчивости (метод нормальных мод, метод начальных возмущений). Задача Иди. Понятие  $f$ -плоскости. Подробное решение задачи развития бароклинных возмущений для несжимаемой атмосферы на  $f$ -плоскости в случае ветрового потока с постоянным по высоте сдвигом. Сведение этой задачи к дисперсионному соотношению для развивающихся бароклинных мод. Понятие наиболее неустойчивой моды. Задача Филиппса. Подробный анализ задачи развития бароклинных возмущений на  $f$ -плоскости для двуслойной атмосферы. Введение вертикальной дискретизации. Выделение "динамических" и "термодинамических" вертикальных уровней. Понятие "баротропного контролёра".

#### Тема 4. Предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов

##### лабораторная работа (6 часа(ов)):

Введение операторных свойств гидродинамических уравнений. Понятие сопряжённого оператора и нормального оператора, их математические свойства. Анализ нормальности гидродинамического оператора, получение утверждения о том, что такой оператор не является нормальным (по группам). Анализ следствий из этого утверждения, введение понятия взаимодействия между модами. Иллюстраций важности такого взаимодействия для задачи Иди. Понятие немодального анализа. Понятие оптимальности начальных условий для развития возмущения. Природа низкочастотной изменчивости атмосферной циркуляции. Начальный рост ошибок. Энтропия как мера предсказуемости. Предсказуемость режимов атмосферной циркуляции. Предсказуемость изменений климата.

#### Тема 5. Самостоятельное решение задач по геофизической гидродинамике

### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

| N  | Раздел Дисциплины                                                    | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|----|----------------------------------------------------------------------|---------|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1. | Тема 1. Вводная часть                                                | 3       | 1,2             | подготовка к устному опросу           | 6                      | устный опрос                          |
| 2. | Тема 2. Устойчивость потоков в гидродинамике                         | 3       | 3-5             | подготовка к контрольной работе       | 3                      | контрольная работа                    |
|    |                                                                      |         |                 | подготовка к устному опросу           | 2                      | устный опрос                          |
| 3. | Тема 3. Устойчивость движений атмосферы                              | 3       | 6-8             | подготовка к контрольной работе       | 3                      | контрольная работа                    |
|    |                                                                      |         |                 | подготовка к устному опросу           | 2                      | устный опрос                          |
| 4. | Тема 4. Предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов       | 3       | 9,10            | подготовка к устному опросу           | 6                      | устный опрос                          |
| 5. | Тема 5. Самостоятельное решение задач по геофизической гидродинамике | 3       | 10-13           | подготовка к контрольной работе       | 24                     | контрольная работа                    |
|    | Итого                                                                |         |                 |                                       | 46                     |                                       |

## **5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения**

- лекции (в сочетании с активными формами их проведения);
- выполнение практических работ с использованием ПЭВМ.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **Тема 1. Вводная часть**

устный опрос , примерные вопросы:

- Определение понятия устойчивости процессов и их предсказуемости - Чем отличаются локальная и глобальная устойчивость? - Определение аттрактора. - Уравнения трёхмодовой модели Лоренца. - Общая структура аттрактора Лоренца. - Определение потенциальной предсказуемости первого и второго рода.

### **Тема 2. Устойчивость потоков в гидродинамике**

контрольная работа , примерные вопросы:

- Вывод критерия Куо неустойчивости для гидродинамических движений. - Вывод критерия Рэлея неустойчивости для гидродинамических движений. - Вывод критерия Майлса-Говарда неустойчивости для гидродинамических движений. - Вывод критерия Фьортофта неустойчивости для гидродинамических движений. - Вывод приближения Галёркина для анализа развития неустойчивости гидродинамических движений. - Решение задачи на использование критерия Куо неустойчивости для гидродинамических движений. - Решение задачи на использование критерия Рэлея неустойчивости для гидродинамических движений. - Решение задачи на использование критерия Майлса-Говарда неустойчивости для гидродинамических движений. - Решение задачи на использование критерия Фьортофта неустойчивости для гидродинамических движений.

устный опрос , примерные вопросы:

- Определение неустойчивости Кельвина. - Определение неустойчивости Гельмгольца. - Определение показателей Ляпунова - Математические свойства показателей Ляпунова.

### **Тема 3. Устойчивость движений атмосферы**

контрольная работа , примерные вопросы:

- Особенности движения жидкой частицы при развитии бароклинного возмущения. - Вывод решения задачи развития бароклинного возмущения как частного случая задачи термической конвекции. - Вывод метода нормальных мод для анализа задачи бароклинной неустойчивости. - Получение решения задачи Иди и её сведение к дисперсионному соотношению для развивающихся бароклиновых мод. - Вывод вертикальной дискретизации для задачи Филиппса с разделением на "динамические" и "термодинамические" вертикальные уровни. - Получение дисперсионного соотношения для задачи Филиппса. - Анализ устойчивых и неустойчивых мод для задачи Филиппса. - Вывод обобщения критерия Рэлея на теорему Чарни-Штерна.

устный опрос , примерные вопросы:

- Определение статической неустойчивости. - Определение баротропной неустойчивости. - Определение бароклинной неустойчивости. - Определение понятия "баротропного контролёра".

### **Тема 4. Предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов**

устный опрос , примерные вопросы:

- Основные операторные свойства гидродинамических уравнений. - Основное следствие из того, что гидродинамический оператор не является нормальным. - Какова природа низкочастотной изменчивости атмосферной циркуляции. - Определение понятия предсказуемости атмосферной циркуляции и климата.

### **Тема 5. Самостоятельное решение задач по геофизической гидродинамике**

контрольная работа , примерные вопросы:

Выбор метода решения. Анализ неустойчивости возникающих движений. Их предсказуемость.

## Тема . Итоговая форма контроля

Примерные вопросы к экзамену:

### А. Контрольные вопросы

1. Понятие устойчивости процессов и их предсказуемости. Показатели Ляпунова.
2. Движения на аттракторе. Локальная, и глобальная устойчивость.
3. Иллюстративная трёхмодовая модель Лоренца. Аттрактор Лоренца. Потенциальная предсказуемость первого и второго рода.
4. Неустойчивость Кельвина/
5. Неустойчивость Гельмгольца.
6. Критерий Куо устойчивости движения жидкости.
7. Критерий Рэлея устойчивости движения жидкости.
8. Критерий Майлса-Говарда устойчивости движения жидкости.
9. Критерий Фьортофта устойчивости движения жидкости.
10. Галёркинские приближения.
11. Статическая неустойчивость.
12. Баротропная неустойчивостью
13. Бароклинная неустойчивость.
14. Задача Иди.
15. Задача Филиппа.
16. Понятие "баротропного контролёра".
17. Природа низкочастотной изменчивости атмосферной циркуляции.
18. Начальный рост ошибок. Энтропия как мера предсказуемости.
19. Предсказуемость режимов атмосферной циркуляции. Предсказуемость изменений климата.

### Б. Задания для самостоятельной работы студентов (СРС)\_

1. Изучение учебной и научной литературы, относящейся к области УПАП.
  2. Завершение практических работ (вне учебного расписания), начатых на учебных занятиях, и подготовка отчетов об их выполнении.
  3. Самостоятельное решение задач УПАП (14-20 недели). Отчет о выполнении работы.
- Вопросы экзаменационных билетов

1. Понятие устойчивости процессов и их предсказуемости. Показатели Ляпунова.
2. Движения на аттракторе. Локальная, и глобальная устойчивость.
3. Иллюстративная трёхмодовая модель Лоренца. Аттрактор Лоренца. Потенциальная предсказуемость первого и второго рода.
4. Неустойчивость Кельвина/
5. Неустойчивость Гельмгольца.
6. Критерий Куо устойчивости движения жидкости.
7. Критерий Рэлея устойчивости движения жидкости.
8. Критерий Майлса-Говарда устойчивости движения жидкости.
9. Критерий Фьортофта устойчивости движения жидкости.
10. Галёркинские приближения.
11. Статическая неустойчивость.
12. Баротропная неустойчивостью
13. Бароклинная неустойчивость.
14. Задача Иди.
15. Задача Филиппа.
16. Понятие "баротропного контролёра".

17. Природа низкочастотной изменчивости атмосферной циркуляции.
18. Начальный рост ошибок. Энтропия как мера предсказуемости.
19. Предсказуемость режимов атмосферной циркуляции. Предсказуемость изменений климата.

### **7.1. Основная литература:**

Гидродинамика и гидродинамические процессы, Зиннатуллин, Назиф Хатмуллович;Гурьянов, Алексей Ильич;Ильин, Владимир Кузьмич;Елдашев, Дмитрий Александрович, 2010г.

1. Должанский Ф.В. Основы геофизической гидродинамики. М.: Физматлит, 2011. 264 с.
2. Метеорология и климатология: Учебное пособие / Г.И. Пиловец. - М.: НИЦ Инфра-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 399 с. URL: <http://znanium.com/bookread.php?book=391608>

### **7.2. Дополнительная литература:**

Магнитная гидродинамика, Кирко, Игорь Михайлович;Кирко, Галина Евгеньевна, 2009г.

Аналитическая гидродинамика, Петров, Александр Георгиевич, 2010г.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 2003. 736 с.
2. Монин А.С. Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 424 с.

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Гидрометцентр России - <http://www.meteoinfo.ru>

Институт вычислительной математики РАН - <http://www.inm.ras.ru>

Институт океанологии РАН - <http://www.ocean.ru>

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН - <http://www.ifaran.ru>

Кафедра метеорологии и климатологии МГУ им М.В. Ломоносова - <http://meteo-geofak.narod.ru/>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

1) библиотечный фонд НБ им. Н.И. Лобачевского при КФУ;

2) дисплейный класс.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 021600.68 "Гидрометеорология" и магистерской программе Метеорология .

Автор(ы):

Елисеев А.В. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Переведенцев Ю.П. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.