

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет

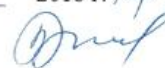
«Утверждено»

Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов



Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

«29» 11 2018 г. пр. № 10



ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ПОГОДЫ»

по направлению подготовки **05.03.04 в «Гидрометеорология»**
профиля «**Метеорология**»
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

**Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет**

«Утверждено»

Декан географического факультета,
член-корр. РАН С.А. Добролюбов

Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

« ____ » _____ 2018 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ПОГОДЫ»

по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**
профиля **«Метеорология»**
уровня высшего образования бакалавриат
с присвоением квалификации «бакалавр»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»** (*программы бакалавриата, реализуемой последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель курса – обучение студентов современным методам численного анализа и прогноза погоды.

Особенностью предлагаемого учебного курса является его нацеленность на выработку у студентов знания как теоретических вопросов методов вычислительной математики, используемых при численном моделировании атмосферных процессов, так и технологии их реализации на современных вычислительных системах и математических пакетах, применяемых в практической деятельности. В курсе будет дан обзор развития и современное состояние систем прогнозирования и усвоения данных наблюдений.

Современный этап развития метеорологии и климатологии связан с постоянным использованием вычислительных систем для проведения моделирования процессов в атмосфере и подстилающем слое (к нему отнесем деятельные слои суши и воды). По этой причине в курсе будут изложены наряду с чисто теоретическими результатами также и методы моделирования с реализацией их на компьютере с применением пакета MATLAB (MATrix LABoratory) фирмы MathWorks (<http://www.mathworks.com>).

Задачи при освоении данной дисциплины:

- ознакомиться с основами численных методов, применяемых при численном прогнозе погоды, и научить методам их реализации на компьютерах;
- получить представление о современных системах оперативного численного прогноза погоды и используемых в них параметризациях процессов в атмосфере.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Численные методы анализа и прогноза погоды» входит в модуль «Динамическая метеорология» профессионального цикла вариативной части ООП профиля «Метеорология» и относится к числу дисциплин, позволяющих изучить математические и физические основы исследования и прогнозирования атмосферных процессов. Дисциплина обязательная и изучается на 4 курсе в 7 и 8 семестрах.

Изучение курса базируется на предварительном усвоении студентами материала базовых метеорологических дисциплин и модулей: физической метеорологии, химии атмосферы, динамической метеорологии, климатологии; а также базовых физико-математических дисциплин: физики, гидромеханики, дифференциального исчисления, теории вероятности и математической статистики. Предполагается владение основами программирования и базовое владение компьютером.

Курс «Численные методы анализа и прогноза погоды» является одним из базовых в профессиональной подготовке метеоролога. Он призван дать студентам знания, необходимые для последующего изучения других дисциплин в бакалавриате и магистратуре, а также для работы в различных областях метеорологии после окончания университета.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В соответствии с ОС МГУ и «Оценочными и методическими материалами формирования компетенций, оценивания уровня знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности у обучающихся и выпускников» освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций и получение следующих результатов обучения:

- способность использовать знания об основах теоретической гидромеханики и их приложений к описанию динамики атмосферы в задачах численного моделирования атмосферных процессов и прогноза погоды (СПК-2.Б, формируется частично).

В результате освоения дисциплин модуля обучающийся должен:

Знать:

- основные методы усвоения метеорологических данных наблюдений;

- основные методы численного решения дифференциальных уравнений гидротермодинамики, описывающих атмосферные процессы;
- современные системы численного прогноза погоды;
- методы оценки качества численных прогнозов погоды;

Уметь:

- работать с файлами, содержащими результаты численных прогнозов;

Владеть:

- методами реализации численных методов, используемых при разработке систем прогноза погоды.

4. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины и виды учебной работы.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц.

Общая аудиторная нагрузка – 108 часа, в т.ч. лекции – 48 часов и семинары – 60 часов.

Объем самостоятельной работы студентов – 72 академических часа.

| № п/п | Раздел (тема) дисциплины | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, <u>включая самостоятельную работу студента (СРС)</u> и трудоемкость (в часах)) | | | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|----------|---|---------|-----------------|---|----------|-----|---|
| | | | | Контактная работа | | СРС | |
| | | | | Лекции | Семинары | | |
| 0 | Введение. | 7 | 1 | 2 | 2 | 1 | |
| 1 | Математическая формулировка задачи численного прогноза погоды | 7 | 2-3 | 4 | 4 | 3 | |
| 2 | Численные методы, используемые для моделирования атмосферных процессов, и применение пакета MATLAB в задачах численного прогноза погоды | 7 | 4-5 | 4 | 4 | 4 | Устный опрос |
| 3 | Современные системы наблюдений и усвоения метеорологических наблюдений. | 7 | 6-7 | 4 | 4 | 4 | Коллоквиум 1 |
| 4 | Параметризация процессов подсеточного масштаба | 7 | 8-9 | 4 | 4 | 8 | |
| 5 | Текущая погода и сверхкраткосрочный численный прогноз погоды. | 7 | 10-12 | 6 | 6 | 8 | |
| 6 | Краткосрочный численный прогноз погоды | 7 | 13-15 | 6 | 6 | 8 | Контрольная работа |
| 7 | Среднесрочный чис- | 7 | 16-18 | 6 | 6 | 8 | Устный доклад |

| | | | | | | | |
|----|--|---|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|
| | ленный прогноз погоды. | | | | | | |
| | Промежуточная аттестация | | | | | 28 | Экзамен |
| | ИТОГО 7 семестр | | 18 | 36 | 36 | 72 | |
| 8 | Прогноз ансамблей, предсказуемость атмосферных процессов, оценка качества прогнозов. | 8 | 15 | 4 | 8 | | Устный доклад |
| 9 | Технология реализации систем прогноза погоды на суперкомпьютерах | 8 | 16 | 4 | 8 | | Контрольная работа |
| 10 | Современные тенденции развития оперативных систем численного прогноза погоды. | 8 | 17-18 | 4 | 8 | | Коллоквиум 2 |
| | Промежуточная аттестация | | | | | 0 | Зачет |
| | ИТОГО, 8 семестр | | 12 | 12 | 24 | 0 | |
| | ИТОГО, ГОД | | | 48 | 60 | 72 | |

5. Содержание дисциплины

Содержание лекций

Введение. История развития численного прогноза погоды как задачи физики крупномасштабных и мезомасштабных процессов с учетом процессов микромасштаба. Классификация ВМО прогнозов погоды по заблаговременности. Постановка общей задачи численных прогнозов погоды. Метод телескопизации. Современные системы численного прогноза погоды и вычислительные системы.

Тема 1. Математическая формулировка задачи численного прогноза погоды. Система полных уравнений гидротермодинамики атмосферных процессов в различных системах вертикальных и горизонтальных координат. Численный прогноз погоды как задача Коши, начальные и граничные условия. Методы инициализация. Решение методических задач численного прогноза погоды с помощью пакета MatLab.

Тема 2. Численные методы, используемые для моделирования атмосферных процессов, и применение пакета MatLab в задачах численного прогноза погоды.

Основы работы в пакете MATLAB и визуализация результатов численных экспериментов. Численные методы решения задач линейной алгебры. Переопределенные системы и метод множественной линейной регрессии. Проблема собственных значений. Решение нелинейных уравнений. Интерполирование. Кубические сплайны. Численное дифференцирование и интегрирование. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Численные методы решения дифференциальных уравнений с частными производными. Система уравнений мелкой воды: явные, неявные и полунявные схемы. Физические и вычислительные моды. Вычислительная дисперсия. Метод расщепления.

Тема 3. Современные системы наблюдений и усвоения метеорологических наблюдений. Системы наблюдений и контроль данных наблюдений. Метод коррекции. Метод полиномиальной и оптимальной интерполяции. Многоэлементный численный анализ. Дискретное и непрерывное усвоение данных. Согласование начальных данных для прогностических моделей атмосферы. Трехмерный и четырехмерный вариацион-

ный численный анализ. Решение методических задач численного анализа метеонаблюдений с помощью пакета MatLab.

Тема 4. Параметризация процессов подсеточного масштаба.

Подсеточные процессы и осреднение Рейнольдса. Описание потоков тепла, облачности и осадков в современных прогностических моделях атмосферы.

Тема 5. Текущая погода и сверх краткосрочный численный прогноз погоды.

Задача нахождения текущей погоды и ее связь с усвоением данных. Особенности прогноза погоды на срок до 12 часов. Решение методических задач сверх краткосрочного прогноза погоды с помощью пакета MatLab.

Тема 6. Краткосрочный численный прогноз погоды. Мезомасштабные модели атмосферы для краткосрочного прогноза погоды. Мезомасштабные модели атмосферы для сверхкраткосрочного прогноза погоды. Современные модели. Решение методических задач краткосрочного прогноза погоды с помощью пакета MatLab.

Тема 7. Среднесрочный численный прогноз погоды. Глобальные модели атмосферы для прогноза погоды на средние сроки. Современные прогностические модели атмосферы. Решение методических задач среднесрочного прогноза погоды с помощью пакета MatLab.

Тема 8. Прогноз ансамблей, предсказуемость атмосферных процессов, оценка качества прогноза. Прогноз ансамблей в оперативной практике. Рост ошибок и предел предсказуемости. Решение методических задач для оценки качества прогноза погоды с помощью пакета MatLab.

Тема 9. Технология реализации систем прогноза погоды на суперкомпьютерах. Вычислительные системы с общей и распределенной памятью. Параллельные алгоритмы. Технология организации параллельных вычислений в языках программирования Фортран и Си. Решение методических задач с параллельными вычислениями.

Тема 10. Современные тенденции развития численных методов прогноза погоды.

План проведения семинаров

Тема 8. Методы интерполирования и основы работы в пакете MatLab. Язык программирования пакета MatLab. Полиномы Лагранжа, Ньютона. Кубические сплайны. Постановка задачи аппроксимации функции. Среднеквадратические приближения. Уравнения регрессии. Двухпараметрическая зависимость, общий случай.

Тема 9. Численные методы решения систем алгебраических уравнений, обыкновенных дифференциальных уравнений, дифференциальных уравнений с частными производными. Прямые и итерационные методы решения задач линейной алгебры. Переопределенные системы и метод множественной линейной регрессии. Проблема собственных значений. Решение нелинейных уравнений. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений. Метод прогонки для решения трехдиагональных матриц. Решение одномерных и двумерных уравнений диффузии, адвекции и Пуассона. Численные эксперименты с явными, неявными и полунеявными схемами. Спектральный метод.

Тема 10. Файлы с данными наблюдений и результатами прогноза погоды и работа с ними. Форматы метеоданных. Визуализация и нахождение оценок результатов прогноза погоды.

Тема 11. Практика работы на современных суперкомпьютерах. Параллельные вычисления. Приемы подготовки программ с применением MPI и OpenPL. Подготовка и отладка методических программ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Самостоятельная работа студентов заключается в проработке материала лекций и подготовке к коллективному обсуждению на семинарских занятиях по заданным темам и написанию реферата.

Учебная внеаудиторная деятельность, выполняемая в часы, отведенные студенту для самостоятельной работы, проводится с целью закрепления и углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- изучение отдельных разделов тем дисциплины;
- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к семинарским занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля.

Самостоятельная работа студентов обеспечена следующими материалами:

- заданием для написания рефератов с перечнем рекомендуемой литературы;
- учебно-методическими материалами по основным разделам дисциплины.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Подготовка студентами устных докладов, коллоквиумы, проведение письменных контрольных 15-минутных работ.

Примерные темы устных докладов

1. Оперативная система глобальных прогноза погоды метеорологической службы Великобритании <http://www.metoffice.gov.uk/research/modelling-systems/unified-model>
2. Современные мезомасштабные негидростатические прогностические модели атмосферы европейского консорциума COSMO
3. <http://www.cosmo-model.org/content/model/documentation/core/default.htm>
4. Мезомасштабные модели атмосферы WRF, ARW и WRF-NMM.
5. <http://www.wrf-model.org/wrfadmin/publications.php> <http://www.emc.ncep.noaa.gov>
6. Оперативная система прогноза погоды ЕЦСПП. <http://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/changes-ecmwf-model/>
7. Современная глобальная прогностическая модель атмосферы метеорологической службе США <http://www.emc.ncep.noaa.gov/?doc=doc>
8. Современная глобальная прогностическая модель атмосферы, используемая в метеорологической службе Японии.
9. <http://www.jma.go.jp/jma/en/Activities/nwp.html>
10. Современная глобальная прогностическая модель атмосферы, используемая в
11. метеорологической службе Канады http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/rpn/gef_html_public/index.html

В докладе должно быть отражено:

1. Вертикальные и горизонтальные координаты
2. Сетка, шаги, уровни
3. Метод решения (спектральный, конечно-разностный, явный, неявный, полулагранжев, полуявный и т.д. с пояснением идеи метода)
4. Используемый суперкомпьютер и его характеристики.
5. Примеры карт, метеограм и другой графической продукции с пояснениями
6. Как на сайте службы сделано доведение прогнозов до массового пользователя. Ваше мнение об удачных находках использованной визуализации.

Контрольные вопросы коллоквиума 1.

1. Постановка общей задачи глобального и регионального численных прогнозов погоды.

2. Метод телескопизации.
3. Система полных уравнений гидротермодинамики атмосферных процессов в различных системах вертикальных и горизонтальных координат.
4. Численный прогноз погоды как задача Коши, начальные и граничные условия. Методы инициализация.
5. Численные методы решения задач линейной алгебры.
6. Переопределенные системы и метод множественной линейной регрессии.
7. Интерполирование. Кубические сплайны.
8. Численное дифференцирование и интегрирование.
9. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений.
10. Численные методы решения дифференциальных уравнений с частными производными.
11. Система уравнений мелкой воды: явные, неявные и полунявные схемы.
12. Физические и вычислительные моды. Вычислительная дисперсия.
13. Метод расщепления.

Контрольные вопросы коллоквиума 2.

1. Метод коррекции.
2. Метод оптимальной интерполяции.
3. Многоэлементный численный анализ.
4. Дискретное и непрерывное усвоение данных.
5. Согласование начальных данных для прогностических моделей атмосферы.
6. Трехмерный и четырехмерный вариационный численный анализ.
7. Параметризация процессов подсеточного масштаба.
8. Описание влажности, облачности и осадков в современных прогностических моделях атмосферы.
9. Текущая погода и сверхкраткосрочный численный прогноз погоды.
10. Краткосрочный численный прогноз погоды.
11. Мезомасштабные модели атмосферы для краткосрочного прогноза погоды.
12. Мезомасштабные модели атмосферы для сверхкраткосрочного прогноза погоды.
13. Современные модели.
14. Среднесрочный численный прогноз погоды.
15. Глобальные модели атмосферы для прогноза погоды на средние сроки. Современные прогностические модели атмосферы.
16. Прогноз ансамблей, предсказуемость атмосферных процессов, оценка качества прогноза.
17. Прогноз ансамблей в оперативной практике.
18. Технология реализации систем прогноза погоды на суперкомпьютерах.
19. Вычислительные системы с общей и распределенной памятью.
20. Технология организации параллельных вычислений в языках программирования Фортран и Си.
21. Решение методических задач с параллельными вычислениями.

Примерные темы для устных опросов

1. Решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Метод Гаусса решения систем линейных алгебраических уравнений: схема единственного деления, схема с выбором ведущего элемента. Метод прогонки для трехдиагональной матрицы. Метод итерации решения системы линейных алгебраических уравнений: метод Якоби, метод Гаусса-Зейделя, метод релаксации. Переопределенные системы линейных алгебраических уравнений и метод наименьших квадратов их решения.
2. Интерполяция и аппроксимация функций. Постановка задачи интерполяции. Полиномы Лагранжа и Ньютона. Интерполяция сплайнами. Постановка задачи аппроксима-

- ции функции. Среднеквадратические приближения. Уравнения регрессии. Двухпараметрическая зависимость, общий случай.
3. Интегрирование определенного интеграла. Квадратурные формулы Ньютона-Котеса. Формула прямоугольников, составная формула прямоугольников и оценка погрешности. Формула трапеций, составная формула трапеций и оценка погрешности. Формула Симпсона, составная формула Симпсона и оценка погрешности. Квадратурная формула Гаусса: идея и формула. Квадратурная формула Чебышева: идея и формула. Формула Рунге-Ромберга при известном порядке погрешности для уточнения значения определенного интеграла. Формула Эйткена при неизвестном порядке погрешности для уточнения значения определенного интеграла. Оценка порядка погрешности с помощью формулы Эйткена. Адаптивная формула нахождения значения определенного интеграла.
 4. Решение нелинейных уравнений. Классификация уравнений и основные этапы решения. Метод половинного деления (бисекции, дихотомии) решения одного нелинейного уравнения. Методы простой итерации, выбор оптимального значения весового коэффициента решения одного нелинейного уравнения. Метод Ньютона решения одного нелинейного уравнения и геометрическая интерпретация этого метода. Метод Ньютона решения системы нелинейных уравнений.
 5. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Сходимость. Аппроксимация. Сходимость. Теорема сходимости. Численные методы решения ОДУ: Эйлера, Адамса, Рунге-Кутты.
 6. Решение дифференциальных уравнений с частными производными. Сходимость. Аппроксимация. Сходимость. Теорема сходимости. Численные методы решения параболических уравнений (уравнения теплопроводности, явные и неявные схемы). Численные методы решения эллиптических уравнений (уравнения Пуассона и Лапласа). Численные методы решения гиперболических уравнений (уравнения переноса).
 7. Современные системы наблюдений и усвоения метеорологических наблюдений. Системы наблюдений и контроль данных наблюдений. Метод коррекции. Метод оптимальной интерполяции. Многоэлементный численный анализ. Дискретное и непрерывное усвоение данных. Согласование начальных данных для прогностических моделей атмосферы. Трехмерный и четырехмерный вариационный численный анализ. Решение методических задач численного анализа метеонаблюдений с помощью пакета MatLab.
 8. Параметризация процессов подсеточного масштаба. Подсеточные процессы и осреднение Рейнольдса. Описание влажности, облачности и осадков в современных прогностических моделях атмосферы.
 9. Текущая погода и сверх краткосрочный численный прогноз погоды. Задача нахождения текущей погоды как часть усвоения данных. Особенности прогноза погоды на срок до 12 часов. Решение методических задач сверх краткосрочного прогноза погоды с помощью пакета MatLab.
 10. Краткосрочный численный прогноз погоды. Мезомасштабные модели атмосферы для краткосрочного прогноза погоды. Мезомасштабные модели атмосферы для сверхкраткосрочного прогноза погоды. Современные модели. Решение методических задач краткосрочного прогноза погоды с помощью пакета MatLab.
 11. Среднесрочный численный прогноз погоды. Глобальные модели атмосферы для прогноза погоды на средние сроки. Современные прогностические модели атмосферы. Решение методических задач среднесрочного прогноза погоды с помощью пакета MatLab.
 12. Прогноз ансамблей, предсказуемость атмосферных процессов, оценка качества прогноза. Прогноз ансамблей в оперативной практике. Рост ошибок и предел предсказуемости. Решение методических задач оценки качества прогноза погоды с помощью пакета MatLab.

13. Технология реализации систем прогноза погоды на суперкомпьютерах. Вычислительные системы с общей и распределенной памятью. Параллельные алгоритмы. Технология организации параллельных вычислений в языках программирования Фортран и Си. Решение методических задач с параллельными вычислениями.

Примеры вопросов для письменной 15-минутной контрольной работы

1. Классификация макро-, мезо- и микромасштабных атмосферных процессов.
2. Классификация ВМО заблаговременностей прогноза погоды.
3. Ряд Тейлора. Формула Тейлора.
4. Ряд Фурье. Конечный ряд Фурье.
5. Определение сферических гармоник.
6. Интерполяционный полином Лагранжа и его погрешность.
7. Определение полинома Лежандра.
8. Нахождение определенного интеграла: составная формула Симпсона и ее погрешность.
9. Нахождение определенного интеграла: идея метода Гаусса.
10. Метод Рунге-Кутты четвертого порядка решения системы ОДУ, локальная аппроксимация и точность.
11. Неявная схема для уравнения теплопроводности и ее устойчивость
12. Явная схема для уравнения теплопроводности, число Куранта и ее устойчивость.
13. Явная устойчивая схема для уравнения адвекции $u_t - \delta u_x = f(t)$ с указанием числа Куранта и критерия Куранта.
14. Схема второго порядка аппроксимации для уравнения Пуассона для двух независимых переменных.
15. Шаги сетки для оперативных глобальных моделей IFS, ICON, GFS, GSM, UKMO и полное название этих моделей.

8. Формы и содержание промежуточной аттестации

Экзамен устный (7 семестр)

Зачет устный (8 семестр)

Перечень примерных вопросов к экзамену (7 семестр)

1. Метод Гаусса решения систем линейных алгебраических уравнений: схема единственного деления, схема с выбором ведущего элемента.
2. Метод прогонки для трехдиагональной матрицы.
3. Метод итерации решения системы линейных алгебраических уравнений: метод Якоби, метод Гаусса-Зейделя, метод релаксации.
4. Переопределенные системы линейных алгебраических уравнений и метод наименьших квадратов их решения.
5. Постановка задачи интерполяции. Полиномы Лагранжа и Ньютона.
6. Интерполяция сплайнами.
7. Постановка задачи аппроксимации функции. Среднеквадратические приближения.
8. Уравнения регрессии. Двухпараметрическая зависимость, общий случай.
9. Квадратурные формулы Ньютона-Котеса.
10. Формула прямоугольников, составная формула прямоугольников и оценка погрешности. Формула трапеций, составная формула трапеций и оценка погрешности.
11. Формула Симпсона, составная формула Симпсона и оценка погрешности. Квадратурные формулы Гаусса и Чебышева: идея и формула.

12. Формула Рунге-Ромберга при известном порядке погрешности для уточнения значения определенного интеграла. Формула Эйткена при неизвестном порядке погрешности для уточнения значения определенного интеграла. Оценка порядка погрешности с помощью формулы Эйткена. Адаптивная формула нахождения значения определенного интеграла.
13. Классификация уравнений и основные этапы решения. Метод половинного деления (бисекции, дихотомии) решения одного нелинейного уравнения.
14. Методы простой итерации, выбор оптимального значения весового коэффициента решения одного нелинейного уравнения.
15. Метод Ньютона решения одного нелинейного уравнения и геометрическая интерпретация этого метода. Метод Ньютона решения системы нелинейных уравнений.
16. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ): сходимость, аппроксимация, сходимость, теорема сходимости.
17. Численные методы решения ОДУ: Эйлера, Адамса, Рунге-Кутта.
18. Решение дифференциальных уравнений с частными производными: сходимость, аппроксимация, сходимость, теорема сходимости.
19. Численные методы решения параболических уравнений (уравнения теплопроводности, явные и неявные схемы).
20. Численные методы решения эллиптических уравнений (уравнения Пуассона и Лапласа).
21. Численные методы решения гиперболических уравнений (уравнения переноса).
22. Метод коррекции.
23. Метод оптимальной интерполяции.
24. Многоэлементный численный анализ.
25. Дискретное и непрерывное усвоение данных.
26. Трехмерный и четырехмерный вариационный численный анализ.
27. Согласование начальных данных для прогностических моделей атмосферы.
28. Параметризация процессов подсеточного масштаба.
29. Подсеточные процессы и осреднение Рейнольдса.
30. Описание влажности, облачности и осадков в современных прогностических моделях атмосферы.
31. Методы оценки текущей погоды (наукастинг).
32. Сверхкраткосрочный численный прогноз погоды.
33. Задача нахождения текущей погоды как часть усвоения данных. Особенности прогноза погоды на срок до 12 часов.
34. Мезомасштабные модели атмосферы для сверхкраткосрочного прогноза погоды.
35. Краткосрочный численный прогноз погоды. Мезомасштабные модели атмосферы для краткосрочного прогноза погоды.
36. Современные мезомасштабные прогностические модели атмосферы.
37. Среднесрочный численный прогноз погоды. Глобальные модели атмосферы для прогноза погоды на средние сроки.

Перечень примерных вопросов к зачету (8 семестр)

В 8 семестре зачет проводится по результатам текущего контроля успеваемости.

1. Современные глобальные прогностические модели атмосферы.
2. Прогноз ансамблей и предсказуемость атмосферных процессов.
3. Оценка качества прогноза. Рост ошибок и предел предсказуемости.
4. Технология реализации систем прогноза погоды на суперкомпьютерах.
5. Технология организации параллельных вычислений в языках программирования Фортран и Си++.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО)

7 семестр (экзамен)

| Оценка | Неудовлетворительно | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично |
|--|----------------------------|--|---|---|
| РО и соответствующие виды оценочных средств | | | | |
| Знания (виды оценочных средств: устные опросы, контрольные задания, коллоквиумы) | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |
| Умения (виды оценочных средств: устный доклад, контрольные задания) | Отсутствие умений | В целом успешное, но не систематическое умение | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера) | Успешное и систематическое умение |
| Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: устный доклад, контрольные задания) | Отсутствие навыков | Наличие отдельных навыков | В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме | Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач |

8 семестр (зачет)

| Оценка | Незачет | Зачет |
|--|--|--|
| РО и соответствующие виды оценочных средств | | |
| Знания (виды оценочных средств: устные опросы) | Фрагментарные знания или отсутствие знаний | Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания |
| Умения (виды оценочных средств: практические контрольные задания) | В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений | Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности принципиального характера) |
| Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: практические контрольные задания) | Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков | Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме |

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. Л.: Гидрометеиздат, 1987, 296 с. (в 2020 г. Выдет второе издание)
2. Warner T. Numerical Weather and Climate Prediction. Cambridge University Press. 2011. 526 p.

б) дополнительная литература:

1. Бахвалов Н.С. Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2004, 636 с. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. БХВ-Петербург, 2002, 608 с.
2. Дробышев В.И., Дымников В.П., Ривин Г.С. Задачи по вычислительной математике. М: Наука, 1980, 144 с.
3. Кетков Ю., Кетков А., Шульц М. MatLab 7: программирование и численные методы. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 752 с.
4. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М: Наука, Физматгиз, 1989, 608 с.
5. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях, т.1. Л.: Гидрометеиздат, 1979, 154 с.
6. Плохотников К.Э. Вычислительные методы. Теория и практика в среде MATLAB: курс лекций. М. Горячая линия. – Телеком., 2015, 496 с.
7. Holton J. **An Introduction to Dynamic Meteorology**, 4th Edition. Academic Press, 2004, 535 p.
8. Kalnay E. Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge University Press. 2003. 341 p.
9. Pielke R. Mesoscale meteorological modeling. Academic Press, 2002, 672 p.
10. Wallace M., Hobbs V. Atmospheric Sciences, An Introductory Survey, 2nd Edition. Academic Press / Elsevier, 2006, 483 p.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы – профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Географическая информационная система МЕТЕО (ГИС МЕТЕО) - система обработки и представления текущей и прогностической аэросиноптической информации.
2. Прямой доступ к оперативной базе данных прогноза погоды Гидрометцентра РФ.
3. Доступ к результатам прогнозов ведущих мировых центров прогноза погоды с помощью сайта <http://www.wetterzentrale.de/> .
4. Данные вертикального зондирования атмосферы (архив университета штата Wyoming).
5. Международный центр распространения данных (DDC-IPPC)
6. Метеоданные (архив факультета метеорологии Флоридского университета)
7. Статистическая структура глобальной атмосферы по данным радиозондирования <http://www.meteo.ru/rihmi/oa/issl.htm>

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория с мультимедийным проектором, экраном, доской для мела или фломастеров.

11. Контролирующие материалы по дисциплине (ФОС)

тесты контроля усвоенных знаний по дисциплине

1. Классификация ВМО заблаговременностей прогноза погоды.
2. Ряд Тейлора. Формула Тейлора.
3. Ряд Фурье. Конечный ряд Фурье.
4. Неявная схема для уравнения теплопроводности и ее устойчивость
5. Явная схема для уравнения теплопроводности, число Куранта и ее устойчивость.

Программа одобрена на заседании кафедры метеорологии и климатологии
Протокол № 632 от 20 ноября 2018 г.

Зав. кафедрой метеорологии и климатологии
д.г.н., профессор

_____ А.В. Кислов
подпись

Разработчик:

Ривин
Гдалиий Симонович

д.ф.-м.н., профессор

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, кафедра
метеорологии и климатологии

Эксперт:

Кислов
Александр Викторович

д.г.н., профессор

МГУ имени М.В.Ломоносова,
географический факультет, кафедра ме-
теорологии и климатологии