

**Государственный научный центр Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Гидрометеорологический научно- исследовательский центр Российской  
Федерации» (ФГБУ «Гидрометцентр России»)**

Утверждаю

Директор ФГБУ «Гидрометцентр России»

С.В.Борщ

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Вычислительные и физические аспекты современного численного прогноза»**

Направление подготовки

05.06.01 - «Науки о земле»

1.6.18 - «Науки об атмосфере и климате»

Форма обучения: очная, заочная

**Москва, 2022 г.**

Программа учебной дисциплины «Вычислительные и физические аспекты современного численного прогноза погоды». Для аспирантов по направлению подготовки: 05.06.01 – Науки о Земле; 1.6.18 - «Науки об атмосфере и климате». Сост. М.А.Толстых, М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2015.

**СОСТАВИТЕЛЬ**  
доктор физико-математических наук  
М.А.Толстых

**ОБСУЖДЕНА И ОДОБРЕНА**  
Программа обсуждена и одобрена на заседании Ученого совета  
ФГБУ «Гидрометцентр России»

Протокол №    от «    »    2022 г.

## 1. Характеристика дисциплины «Вычислительные и физические аспекты современного численного прогноза погоды»

Целью курса является формирование у аспирантов системных знаний в области современных методов гидродинамических прогнозов. Задачи курса следующие:

- охарактеризовать особенности численного моделирования атмосферных процессов;
- раскрыть специфику использования численных методов в прогнозировании;
- сформировать представления об основных подходах к методам гидродинамического прогнозирования;
- способствовать владению методами численного прогноза погоды;
- содействовать развитию способностей к самостоятельной исследовательской, управленческой, организационной деятельности.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Дисциплина «Вычислительные и физические аспекты современного численного прогноза погоды» относится к блоку вариативных дисциплин. Дисциплина изучается в 3 и 4-ом семестрах при очной и заочной формах обучения. Общая трудоемкость дисциплины – 6 зач. ед. (216 академических часа). Промежуточная аттестация – зачет.

## 3. Матрица связи дисциплины и компетенций, формируемых на основе изучения дисциплины «Вычислительные и физические аспекты современного численного прогноза погоды»

	Наименование составляющих компетенций	Перечень планируемых результатов
УК1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	ЗНАТЬ: <ul style="list-style-type: none"><li>• сущность современных гидродинамических методов прогнозов погоды понять место и роль в ряду других методов прогноза погоды</li><li>• методологию и организацию использования численных методов прогноза погоды</li></ul>
УК5	Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития в соответствии с уровнем образования	<ul style="list-style-type: none"><li>• основы методологии разработки методов и о научном инструментарии разработки численных методов прогноза погоды</li></ul>
ОПК1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	УМЕТЬ: <ul style="list-style-type: none"><li>• сформулировать цели, задачи и содержание процесса исследования методик численного прогноза;</li><li>• самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;</li></ul>
ПК-1	Понимание природы физических процессов в атмосфере и гидросфере для прогнозирования погоды, самостоятельного	<ul style="list-style-type: none"><li>• использовать полученные знания</li></ul>

	проведения научно-исследовательской работы и получении научных результатов, удовлетворяющих требованиям к выпускной квалификационной работе, в том числе к содержанию диссертации на соискание ученой степени кандидата наук соответствующей направленности.	и навыки (владение методологией анализа современных подходов к прогнозированию погоды, формирование навыков исследовательской работы в области прогнозирования). ВЛАДЕТЬ:
ПК-2	Умение профессионально пользоваться метеорологическими базами данных и специальными коммуникационными средствами	<ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками работы в специфическом информационном поле, связанном с применением численных методов прогноза.</li> </ul>
ПК-3	Умение применять полученные знания в прогнозировании погоды гидродинамическими методами	<ul style="list-style-type: none"> <li>• методиками построения численных прогностических схем</li> <li>• технологиями инновационного и современного подхода в области гидродинамического прогнозирования погоды,</li> </ul>

<i>Коды компетенций</i>	<i>Компетенция</i>	<i>Уровни проявления компетенции</i>	<i>Описания признаков проявления компетенции на разных уровнях</i>
УК-1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в	Высокий уровень компетентности	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Способен в составе научно-исследовательского коллектива готовить аналитические записки по научным достижениям, в том числе и в междисциплинарных областях.</li> <li>- Способен планировать профессиональное и личное развитие..</li> </ul>

УК5	<p>том числе в междисциплинарных областях.</p> <p>Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития в соответствии с уровнем образования</p>	<p>Базовый уровень компетентности</p>	<p>- Способен в составе научно-исследовательского коллектива готовить информационно-аналитические обзоры по научным достижениям в области синоптических исследований.</p> <p>- Способен планировать профессиональное и личное развитие.</p>
		<p>Минимальный уровень компетентности</p>	<p>- Способен в составе научно-исследовательского коллектива готовить первичный материал для аналитических записок и информационно-аналитических обзоров, по научным достижениям в области синоптических исследований для создания методов прогноза погоды.</p> <p>- Способен планировать профессиональное и личное развитие.</p>
ОПК1	<p>Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>	<p>Высокий уровень компетентности</p>	<p>- Способен самостоятельно готовить научные отчеты и аналитические записки по синоптическим исследованиям.</p> <p>- Способен читать лекции по обозначенным темам.</p>
		<p>Базовый уровень компетентности</p>	<p>- Способен самостоятельно готовить информационно-аналитические обзоры по обозначенной тематике.</p>
		<p>Минимальный уровень компетентности</p>	<p>- Способен самостоятельно готовить первичный материал с использованием коммуникационных технологий по обозначенной тематике.</p>

ПК1	<p>Понимание природы физических процессов в атмосфере и гидросфере для прогнозирования погоды, самостоятельного проведения научно-исследовательской работы и получении научных результатов, удовлетворяющих требованиям к выпускной квалификационной работе, в том числе к содержанию диссертации на соискание ученой степени кандидата наук соответствующей направленности.</p>	Высокий уровень компетентности	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Способен проводить исследования, владеть методологией анализа результатов работы гидродинамических прогностических моделей прогноза погоды.</li> <li>- Способен владеть технологиями составления и использования результатов работы гидродинамических прогностических моделей прогноза погоды.</li> <li>-Способен работать с отечественными и зарубежными специализированными метеорологическими базами данных</li> </ul>
ПК2	<p>Умение профессионально пользоваться метеорологическими базами данных и</p>	Базовый уровень компетентности	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Способен проводить анализ современных методов численных прогностических схем.</li> <li>- Способен владеть технологиями использования результаты численного прогноза погоды</li> <li>- Способен работать с зарубежными и отечественными метеорологическими базами данных</li> </ul>

ПКЗ	специальными коммуникационными средствами	Минимальный уровень компетентности	- Способен собирать и обрабатывать первичный материал по проблемам современных численных методов прогнозирования погоды. - Способен владеть технологиями составления гидродинамического прогноза погоды - Способен работать с метеорологическими базами данных
	Умение применять полученные знания в прогнозировании погоды гидродинамическими методами		

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов из которых 72 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем, 108 часа составляет самостоятельная работа аспиранта, 36 часов составляет контроль за выполнением заданий.

по очной форме обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры			
		2	3		
Аудиторные занятия (всего)	72	36	36		
<i>В том числе:</i>					
Лекции	36	18	18		
Практические занятия (ПЗ)	36	18	18		
Семинары (С)	Не предусмотрено				
Лабораторные работы (ЛР)	Не предусмотрено				
Самостоятельная работа (всего)	108	54	54		
<i>В том числе:</i>					
Реферат	Не предусмотрено				
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Вид промежуточной аттестации ( <b>зачет</b> , экзамен)	36	18	18		
Общая трудоемкость час	216	108	108		

по заочной форме обучения

Вид учебной работы	Всего	Семестры
--------------------	-------	----------

	часов	2	3		
Аудиторные занятия (всего)	72	36	36		
<i>В том числе:</i>					
Лекции	36	18	18		
Практические занятия (ПЗ)	36	18	18		
Семинары (С)	Не предусмотрено				
Лабораторные работы (ЛР)	Не предусмотрено				
Самостоятельная работа (всего)	108	54	54		
<i>В том числе:</i>					
Реферат	Не предусмотрено				
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>					
Вид промежуточной аттестации ( <b>зачет</b> , экзамен)	36	18	18		
Общая трудоемкость час	216	108	108		

**5. Содержание дисциплины «Вычислительные и физические аспекты современного численного прогноза погоды»:**

<b>№ темы</b>	<b>Наименование тем дисциплины</b>	<b>Содержание</b>
1.	Тема 1. Особенности уравнений динамики атмосферы	Основные понятия вычислительной математики. Особенности уравнений динамики атмосферы. Гидростатические и негидростатические уравнения. Уравнение адвекции (переноса). Точное решение уравнения переноса, его свойства. Исследование фазовой и амплитудной ошибки разностных схем по пространству для уравнения переноса (на примере схемы направленных разностей и центральных разностей).
2.	Тема 2. Построение простейших численных схем прогноза.	Построение явных и компактных аппроксимаций для первой производной по пространству методом неопределенных коэффициентов. Зависимость фазовой и амплитудной ошибки от порядка аппроксимации.
3.	Тема 3. Монотонные разностные схемы для уравнения переноса.	Монотонные разностные схемы для уравнения переноса. Схема Лакса-Вендроффа. Схемы с ограниченной вариацией. Теорема о достаточном условии TVD.
4.	Тема 4. Метод конечных	Метод конечных объемов. Эквивалентность методу конечных разностей для декартовых координат.



№ темы	Наименование тем дисциплины	Содержание
	объемов.	
5.	Тема 5. Полулагранжев метод для уравнения переноса..	Полулагранжев метод для уравнения переноса. Критерий устойчивости. Обобщение на двумерный случай. Учет правой части. Достоинства и недостатки. Вариант полулагранжева метода с сохранением массы.
6.	Тема 6. Пространственные сетки в численных схемах	Воспроизведение инерционно-гравитационных волн в моделях атмосферы. Смещенные сетки. Аппроксимация дисперсионного соотношения.
7.	Тема 7. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы	Решение трехмерных уравнений гидротермодинамики атмосферы. Системы вертикальных координат ( $z$ , $p$ , $\sigma$ , гибридная). Воспроизведение градиента давления в сигма-системе координат. Основные типы сеток на сфере.
8.	Тема 8. Методы интегрирования уравнений по времени	Методы интегрирования уравнений по времени: явные, неявные схемы. Метод расщепления по физическим процессам. Методы Рунге-Кутты. Исследование фазовой и амплитудной ошибки за счет дискретизации по времени. Полуявный метод интегрирования по времени в моделях атмосферы.
9.	Тема 9. Граничных условий по горизонтали и вертикали	Моделирование атмосферной циркуляции в ограниченной области. Проблема граничных условий по горизонтали и вертикали. Метод релаксации Дэвиса. Реализация радиационного условия по вертикали.
10.	Тема 10. Основные алгоритмы усвоения данных наблюдений.	Тема 10. Основные алгоритмы усвоения данных наблюдений. Метод оптимальной интерполяции. Трехмерное и четырехмерное вариационное усвоение. Понятие о фильтре Калмана. Ансамблевые фильтры Калмана.

#### 6. Распределение часов по темам и видам учебных занятий очной и заочной форм обучения

Общая трудоемкость учебной дисциплины (модуля)- 6 зачетных единиц

Темы	Трудоемкость (час)				Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости
	Всего	в том числе по видам аудиторных учебных занятий				
		Лекции	Практические занятия			
Тема 1. Особенности уравнений динамики атмосферы	20	2	2	11		

Тема 2. Построение простейших численных схем прогноза.	20	2	2	11	В ходе текущего контроля оценивается работа аспирантов на аудиторных занятиях: участие в дискуссиях, выполнение заданий для самостоятельной работы, тестовые задания.
Тема 3. Монотонные разностные схемы для уравнения переноса.	22	4	4	11	
Тема 4. Метод конечных объемов.	22	4	4	11	
Тема 5. Полулагранжев метод для уравнения переноса..	22	4	4	11	
Тема 6. Пространственные сетки в численных схемах	22	4	4	11	
Тема 7. Система уравнений гидротермодинамики атмосферы	22	4	4	11	
Тема 8. Методы интегрирования уравнений по времени	22	4	4	11	
Тема 9. Граничных условий по горизонтали и вертикали	22	4	4	11	
Тема 10. Основные алгоритмы усвоения данных наблюдений.	22	4	4	11	
Итого	216	36	36	111	
Форма контроля – зачет					

### 7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

№ п.п.	Форма самостоятельной работы	Контроль СРС	Формируемая компетенции
1.	Изучение литературы	Список цитируемых источников	УК1, УК5, ОПК1, ПК1, ПК2, ПК3
2.	Работа по темам лекций	Конспекты лекций и дополнительных оригинальных источников по темам	УК1, УК5, ОПК1, ПК1, ПК2, ПК3

### 8. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

8.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.

**Текущая аттестация аспирантов** проводится в соответствии с локальным актом – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине проводится в форме опроса, а также оценки вопроса-ответа в рамках участия обучающихся в дискуссиях и различных контрольных мероприятиях по оцениванию фактических результатов обучения, осуществляемых преподавателем, ведущим дисциплину.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина – активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- степень усвоения теоретических знаний и уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы, проводимых в рамках семинаров и самостоятельной работы.

Оценивание обучающегося на занятиях осуществляется в форме зачета.

**Промежуточная аттестация аспирантов.** Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине проводится в форме *зачета* в соответствии с локальным актом – Положением о текущей, промежуточной и итоговой аттестации аспирантов по программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в форме зачета в период зачетно-экзаменационной сессии в соответствии с Графиком учебного процесса по приказу (распоряжению заместителю директора по научной работе). Обучающийся допускается к экзамену в случае выполнения аспирантом всех учебных заданий и мероприятий, предусмотренных настоящей программой. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий) аспирант обрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценивание обучающегося на промежуточной аттестации осуществляется с использованием нормативных оценок на зачете – *зачтено / не зачтено*.

**8.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

#### **Примерные вопросы для зачета по дисциплине**

1. Основные понятия вычислительной математики.
2. Особенности уравнений динамики атмосферы
3. Гидростатические и негидростатические уравнения.
4. Уравнение адвекции (переноса).
5. Точное решение уравнения переноса, его свойства.
6. Построение явных и компактных аппроксимаций для первой производной по пространству методом неопределенных коэффициентов..
7. Монотонные разностные схемы для уравнения переноса.
8. Метод конечных объемов.
9. Полулагранжев метод для уравнения переноса.
10. Критерий устойчивости.
11. Воспроизведение инерционно-гравитационных волн в моделях атмосферы.
12. Решение трехмерных уравнений гидротермодинамики атмосферы.
13. Системы вертикальных координат ( $z$ ,  $p$ ,  $\sigma$ , гибридная).
14. Методы интегрирования уравнений по времени: явные, неявные схемы.

15. Метод расщепления по физическим процессам.
16. Полуявный метод интегрирования по времени в моделях атмосферы.
17. Проблема граничных условий по горизонтали и вертикали.
18. Основные алгоритмы усвоения данных наблюдений.
19. Метод оптимальной интерполяции.

### 8.3. Методические указания к проведению процедуры оценивания знаний.

Прием зачета осуществляется с помощью составленных билетов, в которые входят два вопроса из проработанного курса (примерные вопросы даны в пункте 8.2 текущей рабочей программы). Сдача зачета по рабочей дисциплине является обязательной для допуска к кандидатскому экзамену по направленности «Физика атмосферы и гидросферы».

<i>Оценка зачета (нормативная)</i>	<i>Требования к знаниям и критерии выставления оценок</i>
<i>Зачтено</i>	<p>Аспирант при ответе демонстрирует содержание тем учебной дисциплины, владеет основными понятиями, знает особенности методов и технологий преподавательской деятельности, имеет представление об особенностях и специфике научного исследования, способен разрабатывать программу обучения на уровне отдельной дисциплины (курса) или отдельных видов занятий.</p> <p>Информирован и способен делать анализ проблем и намечать пути их решения.</p> <p>Раскрыто содержание материала, даны корректные определения понятий.</p> <p>Допускаются незначительные нарушения последовательности изложения.</p> <p>Допускаются небольшие неточности при использовании терминов или в логических выводах.</p> <p>При неточностях задаются дополнительные вопросы.</p>
<i>Не зачтено</i>	<p>Аспирант при ответе демонстрирует плохое знание значительной части основного материала в области методов и технологий преподавательской деятельности.</p> <p>Не способен разрабатывать программу обучения на уровне отдельной дисциплины (курса) или отдельных видов занятий</p> <p>основное содержание учебного материала не раскрыто.</p> <p>Допущены грубые ошибки в определении понятий и при использовании терминологии.</p> <p>Не даны ответы на дополнительные вопросы.</p> <p>Не информирован или слабо разбирается в проблемах и (или) не в состоянии наметить пути их решения.</p>

### 9. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) основная литература

- 1 Толстых М.А. Вычислительные методы в геофизической гидродинамике. Препринт учебного пособия. 2010.
- 2 Толстых М.А. Применение ансамблевых фильтров Калмана в численном прогнозе погоды. [ftp://geophyslab.srcc.msu.ru/Events/CITES2009/Tolstykh\\_090709.pdf](ftp://geophyslab.srcc.msu.ru/Events/CITES2009/Tolstykh_090709.pdf).

б) дополнительная литература

1. Марчук Г.И., Дымников В.П., Залесный В.Б. Математические модели в геофизической гидродинамике и численные методы их реализации. Ленинград: Гидрометеиздат, 1987 г
2. Толстых М.А. Применение ансамблевых фильтров Калмана в численном прогнозе погоды. [ftp://geophyslab.srcc.msu.ru/Events/CITES2009/Tolstykh\\_090709.pdf](ftp://geophyslab.srcc.msu.ru/Events/CITES2009/Tolstykh_090709.pdf)
3. Журнал «Метеорология и гидрология», ведомственные журналы, Интернет-ресурсы
  - в) электронные ресурсы
    1. Сайт ФГБУ «Гидрометцентр России» <http://www.meteoinfo.ru>
    2. Сайт Всемирной Метеорологической Организации <http://www.wmo.int>
  - г) иностранные источники
    1. Bouttier F., Courtier Ph. Data assimilation concepts and methods. [http://www.ecmwf.int/newsevents/training/lecture\\_notes/pdf\\_files/ASSIM/Ass\\_cons.pdf](http://www.ecmwf.int/newsevents/training/lecture_notes/pdf_files/ASSIM/Ass_cons.pdf)
    2. Coiffier J/ Fundamentals of Numerical Weather Prediction/ Cambridge/ 2011. P.340

#### **10. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

- Федеральный портал «Российское образование»: <http://www.edu.ru>.
- <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. Крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.
- <http://www.iqlib.ru/> - Электронная библиотека IQlib образовательных и просветительских изданий. Образовательный ресурс, объединяющий в себе интернет-библиотеку и пользовательские сервисы для полноценной работы с библиотечными фондами. Свободный доступ к электронным учебникам, справочным и учебным пособиям. Аудитория электронной библиотеки IQlib – студенты, преподаватели учебных заведений, научные сотрудники и все те, кто хочет повысить свой уровень знаний.
- <https://www.meted.ucar.edu> – Международный сайт COMET для дистанционного образования по метеорологии и климатологии.

#### **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

Для преподавания дисциплины «Современные синоптические методы прогноза погоды» используются для полного раскрытия практически всех тем курса информационные технологии. Все темы представлены в виде электронных презентаций, по которым проходит занятие, с указанием ИНТЕРНЕТ –ресурсов, использованных при сборе материала.

№	Название лабораторной работы (практического занятия или отдельной темы дисциплины) в которой используется ИТ	Перечень применяемых ИТ или ее частей	Цель применения	Перечень компетенций
Тема 10	Основные алгоритмы усвоения данных наблюдений.	Метеорологические базы данных SINOP и МАКТ	Работа с метеорологической информацией со всего земного шара	ПК2

## 12. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В ходе проведения занятий по курсу используются:

- традиционные средства: доска, мел;
- мультимедийные комплексы для проведения лекций;
- библиотечный фонд ФГБУ «Гидрометцентр России»;
- компьютерный класс с выходом в Интернет и автоматизированными рабочими местами на базе РС с устройствами многофункционального назначения и поиск информации в Интернете;
- РС подключены к периферийным устройствам (сканер, принтер).

Наименование технического средства	Количество
Сервер <b>TORNADO</b>	1
Компьютеры: <b>acer, ОЗУ 8 Gb, HDD 200 Gb</b>	6
Проектор: Sharp	1
Сканер HP Scanjet 200	1
Принтер LaserJet Pro 400	1

## 13. Краткий терминологический словарь

№	Термин	Определение
1.	Адвекция температуры	<p>Локальное изменение тепловых условий в атмосфере под влиянием горизонтального переноса, адвекции воздуха. А. Т. можно представлять как перенос изотерм в поле воздушных течений. Она выражается скалярным произведением</p> $-\mathbf{V}_H \cdot \nabla_H T = -\left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y}\right),$ <p>где <math>V_H</math> — скорость ветра и <math>\nabla_H T</math> — горизонтальный асцендент температуры. Т. А. при совпадении изобар и изотерм (изогипс абсолютной и относительной барической топографии) и геострофическом ветре равна нулю; при прямых углах между изобарами и изотермами — наибольшая при прочих равных условиях (т. е. при данных значениях барического и температурного градиентов); при одном и том же угле — тем больше, чем больше густота изобар и изотерм. Если температура в данной области в результате адвекции растет, говорят об адвекции тепла, в противном случае — об адвекции холода. При адвекции тепла относительные изогипсы отклоняются от абсолютных вправо, при адвекции холода — влево.</p>
2.	Алгоритм	<p>Система правил, сформулированная на понятном исполнителю языке, которая определяет процесс перехода от допустимых исходных данных к некоторому результату и обладает свойствами массовости, конечности, определенности, детерминированности.</p>

3.	Ансамбль (статистический)	<p>Статистическим ансамблем физической системы называется набор всевозможных состояний данной системы, отвечающих определённым критериям. Примерами статистического ансамбля являются:</p> <p>микроканонический ансамбль, описывающий состояния системы с заданными (постоянными) энергией, импульсом и моментом импульса системы;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• канонический ансамбль, описывающий состояния системы с постоянным числом частиц;</li> <li>• большой канонический ансамбль, описывающий состояния системы с переменным числом частиц (и с заданным химическим потенциалом);</li> <li>• открытый статистический ансамбль, описывающий состояния системы с переменным числом частиц (с заданным химическим потенциалом) и с правильным учётом поверхностных членов;</li> <li>• изотермически-изобарический ансамбль - аналогично каноническому, но в качестве независимых переменных выбирают <math>T</math> и <math>P</math>, вследствие чего вычисляется потенциал <math>\Phi</math>;</li> <li>• неравновесные (квазиравновесные) статистические ансамбли.</li> </ul> <p>Физический смысл приобретает функция распределения системы по статистическому ансамблю, то есть распределение вероятности системы находиться в том или ином физическом состоянии. Обычно рассматриваются равновесные распределения, описывающие физические системы, находящиеся в термодинамическом равновесии с окружающей средой. В общем случае любая физическая система может находиться в неравновесном состоянии.</p>
4.	Аппроксимация	<p>или приближение — научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, в каком-то смысле близкими к исходным, но более простыми.</p> <p>Аппроксимация позволяет исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта, сводя задачу к изучению более простых или более удобных объектов (например, таких, характеристики которых легко вычисляются или свойства которых уже известны).</p>
5.	Атмосферная циркуляция	<p>Система движений атмосферного воздуха в масштабе всего земного шара (общая циркуляция атмосферы) или над небольшой площадью земной поверхности с особыми свойствами (местная циркуляция). Понятие относится как к мгновенному состоянию, так и, чаще, к условиям, осредненным за какой-либо, особенно за многолетний, период.</p>
6.	Вертикальные координаты	<p>Система вертикальных координат (система высот) определяет величины высот и глубин. Подобно горизонтальной системе координат, дополнительная информация в системе высот не нужна, если нет необходимости отображать или комбинировать данные, использующие различные системы высот.</p>
7.	Вынужденная	<p>Общий термин для явлений переноса воздуха с вертикальной</p>

	конвекция	составляющей, происходящих без определяющей роли архимедовой силы. Таковы фронтальные движения воздуха, орографический его подъем, движения с вертикальной составляющей, обусловленной конвергенцией трения, и т. п.
8.	Вычислительная математика	Раздел математики, включающий круг вопросов, связанных с производством разнообразных вычислений. В более узком понимании вычислительная математика — теория численных методов решения типовых математических задач.
9.	Градиент давления (барический градиент)	<p>Вектор <math>-\nabla p</math>, характеризующий степень изменения атмосферного давления в пространстве. По числовой величине Б. Г. равен производной от давления по нормали к изобарической поверхности, т. е. изменению давления на единицу расстояния в том направлении, в котором давление убывает наиболее быстро; направлен Б. Г. по этой нормали в сторону убывания давления. Следовательно,</p> $-\nabla p = -\frac{\partial p}{\partial n} \mathbf{n}.$ <p>По своему физическому содержанию Б. Г. — результирующая всех сил атмосферного давления, действующих на единичный объем воздуха.</p>
10.	Декартовы координаты	Числа, выражающие положение точки на плоскости или в пространстве относительно двух или трех прямолинейных осей координат, пересекающихся в одной точке — начале координат. Наиболее употребительна прямоугольная система Д.К., пересекающихся под прямым углом. Названия Д. К.: абсцисса (x), ордината (y), аппликата (z).
11.	Дисперсия	<p>Наиболее употребительная в математической статистике мера рассеяния случайных величин, т. е. отклонения их от среднего значения. Это — среднее арифметическое из квадратов отклонений величины <math>X_1, X_2, X_3, \dots, X_n</math> от их среднего арифметического <math>\bar{X}</math>:</p> $\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2.$ <p>Квадратный корень из Д. есть среднее квадратическое отклонение.</p>
12.	Разностная схема	Конечная система алгебраических уравнений, поставленная в соответствие какой-либо дифференциальной задаче, содержащей дифференциальное уравнение и дополнительные условия (например, краевые условия и/или начальное распределение). Таким образом, разностные схемы применяются для сведения дифференциальной задачи, имеющей континуальный характер, к конечной системе уравнений, численное решение которых принципиально возможно на вычислительных машинах.
13.	Фильтр Калмана	Эффективный рекурсивный фильтр, оценивающий вектор состояния динамической системы, используя ряд неполных и зашумленных измерений.
14.	Гравитационная волна	Волна, в которой архимедова сила действует на частицы жидкости, выведенные из статического равновесия. Это вертикально-поперечная волна, в которой движение частиц происходит в плоскостях, параллельных вертикальной плоскости (xz). При волновом движении происходит колебательный переход потенциальной энергии в кинетическую и обратно. Если считать



		<p>атмосферу несжимаемой жидкостью, состоящей из двух однородных слоев с плотностями <math>\rho_1</math> и <math>\rho_2</math>, разделенных поверхностью разрыва плотности, то фазовая скорость Г. В. равна</p> $c = \bar{u} \pm \left[ gH \left( 1 - \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \right]^{1/2},$ <p>где <math>\bar{u}</math> — средняя скорость в нижнем слое (в верхнем слое <math>\bar{u} = 0</math>), <math>H</math> — средняя высота поверхности разрыва плотности. Для Я в пределах 1—10 км и <math>\rho_2/\rho_1</math> в пределах 0,90—0,99 скорость Г. В. от 30 до 300 км/ч; но она почти не зависит от амплитуды и длины волн.</p>
15.	Инерционная волна	<p>Устойчивая атмосферная волна большой длины, возникающая вследствие инерции масс воздуха, движущихся над земной поверхностью, и связанная с действием силы Кориолиса. Синоним: волна инерции.</p>
<i>№</i>	<i>Термин</i>	<i>Определение</i>
16.	Адвекция температуры	<p>Локальное изменение тепловых условий в атмосфере под влиянием горизонтального переноса, адвекции воздуха. А. Т. можно представлять как перенос изотерм в поле воздушных течений. Она выражается скалярным произведением</p> $-\mathbf{V}_H \cdot \nabla_H T = -\left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right),$ <p>где <math>V_H</math> — скорость ветра и <math>\nabla_H T</math> — горизонтальный асцендент температуры. Т. А. при совпадении изобар и изотерм (изогипс абсолютной и относительной барической топографии) и геострофическом ветре равна нулю; при прямых углах между изобарами и изотермами — наибольшая при прочих равных условиях (т. е. при данных значениях барического и температурного градиентов); при одном и том же угле — тем больше, чем больше густота изобар и изотерм. Если температура в данной области в результате адвекции растет, говорят об адвекции тепла, в противном случае — об адвекции холода. При адвекции тепла относительные изогипсы отклоняются от абсолютных вправо, при адвекции холода — влево.</p>
17.	Алгоритм	<p>Система правил, сформулированная на понятном исполнителю языке, которая определяет процесс перехода от допустимых исходных данных к некоторому результату и обладает свойствами массовости, конечности, определенности, детерминированности.</p>

**Лист ежегодного утверждения рабочей программы учебной дисциплины  
«Вычислительные и физические аспекты современного численного  
прогноза погоды»**

Рабочая программа учебной дисциплины:

одобрена на 2016/2017 учебный год. Протокол № 2 заседания Секции  
Ученого совета ФГБУ «Гидрометцентр России»

от «1» сентября 2016 г.

Председатель Секции Ученого совета

Кандидат физико-математических наук

Г.В. Елисеев

**Лист изменений и дополнений, внесенных в рабочую программу  
учебной дисциплины «Вычислительные и физические аспекты  
современного численного прогноза погоды»**

<b>Виды дополнений и изменений</b>	<b>Дата и номер протокола заседания Секции Ученого совета, на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения.</b>	<b>Дата утверждения и подпись председателя Секции Ученого совета</b>
нет	Протокол № 2 от 1.09.2016	Дата 1.09. 2016 Председатель Г.В. Елисеев _____ (ФИО)  подпись