

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Географический факультет

«Утверждено»

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



Согласовано
Учебно-методической комиссией
факультета

« 23 » 11 2018 г., пр. № 10

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to a member of the Faculty's Academic and Methodological Commission.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ДИНАМИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ»

по направлению подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**
профиль **«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

Целью освоения дисциплины является получение знаний об основных механизмах формирования атмосферных циркуляций и пространственно-временных распределений метеорологических величин, обусловленных законами механики сплошной среды. .

Задачи освоения дисциплины:

- ознакомить с основными законами сохранения в атмосфере и их простейшими следствиями
- ознакомить с основами теории турбулентных движений и пограничного слоя в атмосфере
- ознакомить с основами волновых движений в атмосфере
- ознакомить с основами теории гидродинамической неустойчивости в атмосфере
- ознакомить с методами математического описания основных циркуляционных систем в атмосфере.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Динамическая метеорология» входит в модуль «Динамическая метеорология» профессионального цикла вариативной части ООП профиля «Метеорология». Она обязательная и изучается на 3-м курсе в 5-м и 6-м семестрах. Изучение дисциплины базируется на предварительном усвоении студентами материала дисциплин: «Общая физика», «Теоретическая механика и гидромеханика», «Высшая математика», «Физическая метеорология», «Климатология». Дисциплина призвана дать студентам знания по динамике атмосферы, необходимые для изучения дисциплин: «Теория климата», «Синоптическая метеорология», «Мезометеорологические процессы», «Численные методы прогноза погоды» и др.

Логическая и содержательно-методическая взаимосвязь дисциплины «Динамическая метеорология» с другими частями ООП определяется следующей совокупностью входных компетенций, которыми должен обладать студент для освоения данной дисциплины:

- владение фундаментальными методами математики и физики;
- способность использовать знание об основах теоретической гидромеханики и их приложений к описанию динамики атмосферы;
- владение знаниями о физических и химических процессах, протекающих в атмосфере.

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 дисциплины студент должен:

Знать: методы гидромеханики и способы их применения к задачам динамики атмосферы

Уметь: использовать и разрабатывать простейшие математические модели динамики атмосферы, использовать эти знания при решении различных задач, связанных с описанием динамики атмосферных циркуляционных систем.

Владеть: методами математического описания различных атмосферных циркуляционных систем при решении различных задач в сфере гидрометеорологического прогнозирования, природопользования, экологии, планирования, и использовать их в научной деятельности и образовательном процессе.

4. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины и виды учебной работы.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц (180 часов).

Аудиторная нагрузка в 5-м семестре – 90 часов, из них 54 часа – лекции, 36 часов – семинары, 18 часов – самостоятельная работа студентов.

Аудиторная нагрузка в 6-м семестре – 52 часа, из них 26 – лекции, 26 – семинары, 20 – самостоятельная работа студентов.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая СРС и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Контактная работа		СРС	
				лекция	семинар		
1	Введение	5	1	3	2		
2	Тема 1	5	2-6-	15	10	2	Промежуточный тест
3	Тема 2	5	7-10	12	8	2	Промежуточный тест
4	Тема 3	5	11-14	12	8	3	Промежуточный тест
5	Тема 4	5	15-18	12	8	2	Промежуточный тест
	Промежуточная аттестация					9	Экзамен
	ИТОГО, 5 семестр		18	54	36	18	
6	Тема 5	6	1-3	6	6	2	Промежуточный тест
7	Тема 6	6	4-7	8	8	2	Промежуточный тест
8	Тема 7	6	8-10	6	6	2	Промежуточный тест
9	Тема 8	6	11-13	6	6	2	Промежуточный тест
	Промежуточная аттестация					12	Экзамен
	ИТОГО 6 семестр		13	26	26	20	
	Итого, ГОД			80	62	38	

5. Содержание дисциплины

Содержание лекций

Введение. Предмет и методы динамической метеорологии. Обзор развития и современное состояние динамической метеорологии. Связь динамической метеорологии с другими дисциплинами.

Тема 1. Кинематика и динамика сжимаемой жидкости. Некоторые сведения из векторного исчисления. Основные операторы, используемые в динамической метеорологии: градиент, дивергенция, завихренность, оператор Лапласа. Криволинейные системы координат. Коэффициенты Ляме. Операции над векторным полем в криволинейных системах координат. Понятие о тензоре. Основные свойства тензора. Примеры тензоров. Дифференциальная диада: деформация и ротация векторного поля. Основные интегральные формулы поля. Некоторые сведения о кинематике жидкости: система координат, траектории движения частиц жидкости, переменные Эйлера и Лагранжа. Скорость и ускорение. Несжимаемая жидкость. Теорема переноса. Кинематика деформации. Соленоидальный и безвихревой потоки, определение функции тока и потенциала. Кинематическая теорема Кельвина. Основные уравнения гидротермодинамики. Уравнения движения в инерциальной системе координат в форме Лагранжа и в форме Эйлера. Уравнение неразрывности. Силы, определяющие ускорение частицы в инерциальной системе координат: сила градиента давления, сила тяжести и сила трения. Тензор напряжений. Уравнения Навье-Стокса. Уравнения сохранения массы. Уравнения движения на вращающейся Земле в векторной форме. Сила Кориолиса и центробежная сила. Уравнение состояния, уравнение притока тепла, влаги и атмосферных примесей.

Тема 2. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной среды. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной среды. Турбулентный характер атмосферных движений и его математическое описание. Обезразмеривание уравнений Навье-Стокса, число Рейнольдса. Осреднение уравнений движения, притоков тепла и влаги и баланса примеси. Уравнения Рейнольдса. Приближение Буссинеска для турбулентных движений. Уравнения баланса потоков импульса. Уравнение баланса кинетической энергии турбулентности для сжимаемой и несжимаемой жидкости. Число Ричардсона.

Тема 3. Масштабный анализ и упрощения уравнений гидротермодинамики. Масштабный анализ и упрощения уравнений гидротермодинамики. Отдельные виды стационарных движений: геострофический поток, градиентный поток, циклострофический поток, инерционный поток, потоки Куэтта и Пуазейля. Изменения геострофического ветра с высотой, термический ветер, агеострофический ветер. Геострофический ветер в сферической системе координат. Уравнения баротропной атмосферы (уравнения мелкой воды). Уравнения гидротермодинамик в криволинейных координатах. Операторы градиента, дивергенции, вихря и Лапласа в цилиндрических и сферических координатах. Уравнения гидротермодинамики в сферических координатах. Уравнения гидротермодинамики в изобарической и изэнтропической системах координат. Граничные условия на нижней и верхней границах атмосферы при использовании в качестве вертикальной координаты давления и потенциальной температуры. Орографические системы координат (сигма система, эта система, гибридные системы координат). Уравнение для кинетической энергии, внутренняя, потенциальная энергия. Доступная потенциальная энергия. Цикл Лоренца.

Тема 4. Квазигеострофическая теория. Уравнение вихря, уравнение потенциального вихря Эртеля, баротропного потенциального вихря, уравнение спиральности, уравнение дивергенции скорости, уравнение энергии, уравнение тенденции. Определение вертикальной скорости на основе уравнения неразрывности и уравнения притока тепла. Квазигеострофическая теория, квазигеострофический потенциальный вихрь.

Тема 5. Пограничные слои в атмосфере. Пограничные слои в атмосфере. Гидродинамическое определение пограничных слоев и их толщин. Планетарный пограничный слой (ППС, экмановский слой) и внутренний (приземный) слой. Вертикальные профили метеорологических величин (теория Монины-Обухова). Вертикальная скорость на верхней границе ППС.

Тема 6. Волновые движения в атмосфере. Линеаризация уравнений гидротермодинамики. Волновые движения в атмосфере. Акустические волны. Инерционные волны в баротропной атмосфере (волны Россби) на бета-плоскости и на сфере. Баротропная сдвиговая неустойчивость. Внешние гравитационные волны. Гравитационно-инерционные волны в геострофическом потоке. Волны Пуанкаре и Кельвина. Внутренние гравитационные волны. Адаптация полей ветра и давления.

Тема 7. Бароклинная неустойчивость. Бароклинная неустойчивость. Линейная теория бароклинной неустойчивости (задача Иди). Линейная двухслойная модель Филлипса. Результаты численного изучения бароклинной неустойчивости.

Тема 8. Атмосферные фронты. Атмосферные фронты. Фронтотенез и фронтотиз, волны на поверхности раздела.

План проведения семинаров

По каждой лекционной теме проводятся контрольные тесты, а также практические занятия по выводу формул и решению задач.

Темы практических занятий

- Основные характеристики метеорологических полей.
 1. Величины градиентов метеорологических элементов и их составляющих.
 2. Оценка порядков величин метеорологических элементов и их производных.
 3. Дивергенция и вихрь ветра.
- Термодинамические процессы в сухом воздухе.
 1. Первое начало термодинамики.
 2. Адиабатические процессы в атмосфере.
 3. Энтропия воздуха.
- Статика.
 1. Барометрические формулы. Приведение давления к уровню моря.
 2. Геопотенциал и его применение.
- Ветер в свободной атмосфере.
 1. Геострофический ветер.
 2. Термический ветер.
- Волны в атмосфере.
- Приземный слой атмосферы.
- Пограничный слой атмосферы.
- Энергетика атмосферы и циркуляция.
 1. Энергетика атмосферы.
 2. Теорема о циркуляции.

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.

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;
- подготовку к различным формам контроля.

Самостоятельная работа студентов обеспечена следующими материалами:

- учебно-методическими материалами по основным разделам дисциплины.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Примеры тестов по разделам.

Тема 1. Кинематика и динамика сжимаемой жидкости.

1. Дать определения операторам градиента, дивергенции, завихренности, оператора Лапласа, и выписать их в декартовой прямоугольной системе координат
2. Дать определение криволинейным системам координат. Выписать общие выражения для коэффициентов Ляме. Выписать дифференциальные операторы над векторным полем в произвольной криволинейной системе координат.
3. Дать определение тензора и выписать его основные свойства. Привести примеры тензоров в гидродинамике. Выписать дифференциальную диаду и разложить её на деформацию и ротацию векторного поля.
4. Сформулировать основные интегральные теоремы для векторных полей: теорему Гаусса-Остроградского, теорему Стокса.
5. Дать определение траекториям частиц жидкости. Сформулировать определение переменных Эйлера и Лагранжа, скорости и ускорения.
5. Что такое несжимаемая жидкость, жидкость постоянной плотности? Записать уравнение неразрывности.
6. Определение соленоидального и безвихревого потоков, определение функции тока и потенциала.
7. Кинематическая теорема Кельвина.
8. Записать уравнения движения в инерциальной системе координат в форме Лагранжа и в форме Эйлера.
9. Силы, определяющие ускорение частицы в инерциальной системе координат: сила градиента давления, сила тяжести и сила трения.
10. Что такое тензор напряжений? Как он выражается через поле скорости?
11. Выведите уравнения Навье-Стокса.
12. Как преобразуются уравнения Навье-Стокса на вращающейся Земле?
13. Выведите уравнение притока тепла.
14. Выведите уравнение сохранения примеси на примере водяного пара.
15. Напишите формулировки потенциального вихря для несжимаемой стратифицированной жидкости и полностью сжимаемой жидкости (вихрь Эртеля).

Тема 2. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной среды.

1. Обезразмерьте уравнения Навье-Стокса так, чтобы в них фигурировало число Рейнольдса. Какой его физический смысл?
2. Запишите свойства осреднения по Рейнольдсу. Чем оно отличается от пространственного осреднения, временного осреднения?
3. Выведите уравнения Рейнольдса. В чём заключается проблема их замыкания?
4. Выведите уравнение для тензора турбулентных напряжений и проинтерпретируйте его слагаемые с физической точки зрения.
5. Выведите уравнение для турбулентной кинетической энергии для несжимаемой жидкости и проинтерпретируйте его слагаемые. Какие слагаемые появляются для сжимаемой жидкости?

Тема 3. Масштабный анализ и упрощения уравнений гидротермодинамики.

1. Запишите уравнение гидростатики и сформулируйте условия, при которых оно справедливо.
2. Запишите уравнения геострофического ветра и сформулируйте условия, при которых оно справедливо.
3. Что такое циклострофический поток, инерционный поток, насколько эти приближения применимы к реальной атмосфере?
4. Выведите формулы термического ветра.
5. Выведите уравнения мелкой воды. Как выглядит потенциальный вихрь в этом приближении?
6. Запишите общие условия и формулы перехода к новой вертикальной координате.
7. Запишите уравнения термогидродинамики гидростатической атмосферы в изобарической системе координат. В чем преимущества и недостатки этой системы по сравнению с z-системой?
8. Запишите уравнения термогидродинамики гидростатической атмосферы в изоэнтропической системе координат. В чем преимущества и недостатки этой системы по сравнению с z-системой?
9. Запишите граничные условия на нижней и верхней границах атмосферы при использовании в качестве вертикальной координаты давления и потенциальной температуры.
10. Приведите примеры нормированных и гибридных систем вертикальных координат.
11. Выведите уравнения для кинетической энергии, внутренней, потенциальной энергии.
12. Дайте понятие доступной потенциальной энергии. Опишите цикл Лоренца.
13. Выведите уравнение для завихренности и проинтерпретируйте его слагаемые. Как оно упрощается для крупномасштабных атмосферных процессов?
14. Что такое упрощения Буссинеска? Как они соотносятся с «неупругим» приближением? Каковы пределы их применимости?
15. Запишите уравнение момента импульса атмосферы, проинтегрируйте по долготе и вертикали. Какие физические выводы об атмосферной циркуляции можно сделать на его основе?

Тема 4. Квазигеострофическая теория.

1. Приведите упрощения уравнения движения, неразрывности и притока тепла в квазигеострофическом приближении.
2. Как определить вертикальную скорость на основе уравнения неразрывности и уравнения притока тепла? Что такое омега-уравнение?

3. Введите понятие квазигеострофического потенциального вихря. Как он соотносится с вихрем Эртеля?

Тема 5. Пограничные слои в атмосфере.

1. Дайте определение пограничному слою и опишите его строение.
2. Дайте вывод профиля скорости в экмановском слое.
3. Из каких соображений получается логарифмический профиль основных метеорологических величин в приземном слое?
4. Дайте основы теории Монино-Обухова.

Тема 6. Волновые движения в атмосфере.

1. Что такое линеаризация уравнений гидротермодинамики, с какой целью и на каком основании она производится?
2. На каком основании пространственно-временную изменчивость метеорологических полей можно описывать гармоническими функциями? Дайте определение длины волны, частоты, фазовой скорости, групповой скорости, дисперсионного соотношения.
3. Что такое акустические волны и какие у них свойства?
4. Выведите дисперсионное соотношение свободных гравитационных волн в двумерной устойчиво стратифицированной атмосфере. Какими атмосферными процессами возбуждаются эти волны?
5. Как и на каких пространственных масштабах вращение Земли модифицирует гравитационные волны? Подкрепите свой ответ постановкой соответствующей гидродинамической задачи.
6. Инерционные колебания и инерционная неустойчивость. Что это такое, при каких условиях они случаются в атмосфере?
7. Свободные волны Россби. Выведите дисперсионное соотношение.
8. Вынужденные волны Россби. Рассмотрите соответствующую гидродинамическую задачу.
9. Баротропная сдвиговая неустойчивость. Рассмотрите вопрос о критерии неустойчивости.
10. Какие основные типы крупномасштабных волн встречаются в экваториальной зоне? Рассмотрите их характеристики.
11. Рассмотрите задачу адаптации полей ветра и давления к геострофическому равновесию.

Тема 7. Бароклинная неустойчивость.

1. Рассмотрите задачу Филлипса о бароклинной неустойчивости.
2. Рассмотрите задачу Иди о бароклинной неустойчивости.

Тема 8.

1. Что такое атмосферные фронты, и какие основные их типы формируются в атмосфере?
2. Дайте определение и математическое описание процессам фронтогенеза и фронтолиза
3. Какие волны образуются на поверхности фронтов?

8. Формы и содержание промежуточной аттестации

Экзамены устные

Примерный перечень вопросов к экзамену

5 семестр

Часть 1. Сведения из классической гидромеханики.

- 1) Основные дифференциальные операции над скалярными и векторными полями. Переход в криволинейные ортогональные координаты. Коэффициенты Ляме.
- 2) Понятие тензора. Операции над тензорами. Примеры тензоров из гидромеханики.
- 3) Описание движения жидкости в переменных Эйлера и Лагранжа. Линии тока и траектории. Трубки тока.
- 4) Скорость и ускорение. Полное ускорение в форме Громэка-Лэмба. Ускорение в сферической и цилиндрической системах координат.
- 5) Кинематическая (первая) теорема Кельвина. Соленоидальный и безвихревой потоки. Функция тока и потенциал.
- 6) Понятие плотности. Уравнение неразрывности.
- 7) Поверхностные и массовые силы. Тензор напряжений.
- 8) Теорема количеств движения. Закон сохранения интегрального импульса в замкнутой области.
- 9) Связь тензора напряжений с полем скорости. Уравнения Навье-Стокса.
- 10) Уравнения Навье-Стокса во вращающейся системе координат.
- 11) Уравнение сохранения потенциального вихря (ПВ) для несжимаемой жидкости, сжимаемой жидкости (ПВ Эртеля), сжимаемой жидкости во вращающейся системе координат
- 12) Кинетическая энергия, потенциальная энергия, внутренняя энергия. Закон сохранения полной энергии.
- 13) Уравнения притока тепла, влаги и примесей.
- 14) Турбулентность: общая характеристика. Число Рейнольдса. Осреднение Рейнольдса и уравнения Рейнольдса.
- 15) Уравнения баланса для турбулентных потоков импульса.
- 16) Турбулентная кинетическая энергия (ТКЭ). Уравнение баланса ТКЭ. Число Ричардсона.

Часть 2. Динамика атмосферы.

- 17) Масштабный анализ и упрощение уравнений движения, неразрывности и притока тепла для крупномасштабной циркуляции атмосферы. Граничные условия.
- 18) Геоострофический ветер, термический ветер, градиентный ветер, инерционный ветер, циклострофический ветер.
- 19) Понятие баротропной и бароклинной атмосферы. Уравнения мелкой воды. Потенциальный вихрь для уравнений мелкой воды.
- 20) Изобарическая и изэнтропическая системы координат. Уравнение геоострофического и термического ветра в изобарической и изэнтропической системах. Функции Монгомери и Экснера. Сигма-системы координат.
- 21) Динамическая (вторая) теорема циркуляции Кельвина. Теорема Бьеркнеса. Уравнение баланса завихренности и его масштабный анализ для крупномасштабной циркуляции атмосферы.
- 22) Уравнения квазигеоострофической динамики атмосферы.
- 23) Уравнение завихренности и потенциального вихря в квазигеоострофическом приближении. Принцип обратимости. Омега-уравнение и его приложение для расчета поля вертикальной скорости.
- 24) Доступная потенциальная энергия, и ее приложение для энергетической трактовки возникновения общей циркуляции атмосферы.

- 25) Момент импульса атмосферы. Уравнение для момента импульса, его физическая интерпретация.
- 26) Пограничный слой атмосферы. Спираль Экмана.
- 27) Конвективный пограничный слой атмосферы.
- 28) Приземный слой. Логарифмические профили. Теория Мони́на-Обухова.

6 семестр

- 1) Разложение функций в ряд Фурье. Волны и их характеристики. Фазовая и групповая скорость, дисперсионное соотношение.
- 2) Метод малых линейных возмущений (нормальных мод). Акустические волны.
- 3) Гравитационные волны на мелкой воде.
- 4) Внутренние гравитационные волны. Связь с колебаниями частицы в устойчиво стратифицированной среде.
- 5) Инерционные и инерционно-гравитационные колебания. Инерционно-гравитационные волны.
- 6) Свободные баротропные волны Россби.
- 7) Орографически возбужденные баротропные волны Россби.
- 8) Экваториальные Россби-гравитационные волны.
- 9) Экваториальные волны Кельвина.
- 10) Баротропная неустойчивость на горизонтальном сдвиге ветра.
- 11) Бароклинная неустойчивость: двухслойная модель Филлипса
- 12) Бароклинная неустойчивость: задача Иди.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО)

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

				задач
--	--	--	--	-------

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная

Должанский Ф.В. Основы геофизической гидродинамики. Москва, Физматлит, 2016, 264 с.

Курганский М. В., Введение в крупномасштабную динамику атмосферы, С-Пб., 1993;

Монин А. С., Теоретические основы геофизической гидродинамики, Л., 1988;

б) дополнительная

Белинский В. А., Динамическая метеорология, М. — Л. 1948;

Гилл А., Динамика атмосферы и океана. В 2-х томах, М., «Мир», 1986;

Дымников В.П. Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов. М.: ИВМ РАН, 2007 – 283 с.

Кибель И. А., Введение в гидродинамические методы краткосрочного прогноза погоды, М., 1957

Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва, 1987, 840 с.

Монин А.С., Яглом А.В. Статистическая гидромеханика. В 2 томах. М.: «Наука», 1965-1967 гг.

Педлоски Дж., Геофизическая гидродинамика (два тома), М., 1984;

Халтинер Дж. и Мартин Ф. Динамическая и физическая метеорология. М., ИЛ, 1960;

Holton, J. R., An introduction to dynamical meteorology, Academic Press, 2004.

Holton, J. R., Hakim, G.J. An introduction to dynamical meteorology, Academic Press, 2013.

Vallis, G. K., 2006. Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics. Cambridge University Press.

Cushman-Roisin, B, and Beckers J.-M. Introduction to Geophysical Fluid Dynamics. Physical and Numerical Aspects. Academic Press, Elsevier, 2011, 828 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 \(архив ун-та штата Wyoming\)](#).

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. Запишите уравнения Навье-Стокса. Какие физические законы они выражают? Какой общий путь их вывода?
2. Запишите уравнения гидростатики и геострофического ветра. Откуда и при каких условиях они выводятся, для каких пространственно-временных масштабов справедливы?
3. Дайте определения основным энергетическим характеристикам атмосферы. Какие обмены происходят между различными видами энергии?
4. Что такое пограничный слой, приземный слой? Каковы вертикальные распределения основных метеорологических величин в них?
5. Что такое баротропная и бароклинная неустойчивость? В чём разница между ними и какие атмосферные циркуляции они вызывают?
6. Какие внутренние волны в атмосфере вы знаете? Опишите кратко их характеристики.

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:

Степаненко

к.ф.-м.н, с.н.с.

Виктор Михайлович

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

Эксперт:

Кислов

д.г.н., профессор

Александр Викторович

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