



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
**Кафедра метеорологии и физики околоземного космического пространства**



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины

**Б1.В.05 Динамическая метеорология**

Направление подготовки **05.03.04 «Гидрометеорология»**


Направленность (профиль) подготовки **«Метеорология»**

Квалификация выпускника - **БАКАЛАВР**

Форма обучения **очная/заочная**

Согласовано с УМК  
географического факультета  
Протокол №3 от «17» апреля 2020 г.

Председатель  С.Ж. Воложина

**Рекомендовано кафедрой:**  
метеорологии и физики околоземного кос-  
мического пространства  
Протокол № 5  
от «7» апреля 2020 г.  
и.о зав. кафедрой -Латышева И.В.

Иркутск 2020 г.

## Содержание

Стр.

1. Цели и задачи дисциплины	3
2. Место дисциплины в структуре ООП	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины	3
4. Объем дисциплины и виды учебной работы	4
5. Содержание дисциплины	4
5.1 Содержание разделов и тем дисциплины	5
5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами	7
5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий	7
6. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ, план самостоятельной работы студентов, методические указания по организации самостоятельной работы студентов	8
6.1 План самостоятельной работы студентов	9
6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	10
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	10
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:	10
а) основная литература	10
б) дополнительная литература	10
в) программное обеспечение	10
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	11
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	11
10. Образовательные технологии	11
11. Оценочные средства (ОС)	12

**1. Цели и задачи дисциплины:** Дать студентам знания об основных законах сохранения в сплошных средах и их применения к динамике атмосферы, ознакомить с теорией движений атмосферы Земли, основанной на законах сохранения. Подготовить студентов в области теории динамики атмосферы.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП:**

Дисциплина «Динамическая метеорология» входит в профессиональный цикл вариативной части ООП по направлению подготовки «Гидрометеорология». Для полного усвоения учебного материала по дисциплине «Динамическая метеорология» студентам необходимо иметь прочные знания по физике (Б1.Б.09); математике (Б1.Б.06), механики жидкости и газа (Б1.В.02); геофизической гидродинамике (Б1.В.02)

Изучение дисциплины «Динамическая метеорология» необходимо для усвоения знаний по следующим курсам: Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений (Б1.В.10); Синоптическая метеорология (Б1.В.07); Аэрологические методы исследований в метеорологии (Б1.В.ОД.8); Авиационная метеорология (Б1.В.ДВ.08.01); Теория общей циркуляции атмосферы (Б1.В.ДВ.07.01); Теория климата (Б1.В.ДВ.07.02); Численные методы анализа и прогноза погоды (Б1.В.09); Моделирование в задачах охраны окружающей среды (Б1.Б.17).

Трудоёмкость в зачётных единицах - 7.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих профессиональных компетенций:

(ПК-1) владение методами гидрометеорологических измерений, статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений с применением программных средств;

(ПК-2) способность понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в гидрометеорологии при составлении разделов научно-технических отчетов, пояснительных записок, при подготовке обзоров, аннотаций, составлении рефератов и библиографии по тематик

### **В результате изучения дисциплины студент должен:**

**Знать:** теоретические основы динамической метеорологии и численных методов прогноза погоды;

**Уметь:** объяснять физическую основу уравнений движения с точки зрения сил и систем координат; применять масштабный анализ для выявления динамических процессов в сбалансированных потоках; описывать характеристики сбалансированных потоков; использовать уравнения движения для объяснения квазигеострофии, агеострофии и структуры и распространения волн в атмосфере; описывать и объяснять научную основу, характеристики и ограничивающие факторы численного прогноза погоды для краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования и объяснять применения численного прогноза погоды.

**Владеть:** основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером, как средством управления информацией.

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

<i>Вид учебной работы</i>	<i>Всего часов / рабочих единиц</i>	<i>Семестры (очное)</i>		<i>Заочное</i>
		<i>6</i>	<i>7</i>	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>128</b>	71	57	20
В том числе:				
Лекции	60	32	28	8
Практические занятия (ПЗ)	60	32	28	8
КСР	8	7	1	2
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>88</b>	73	15	122
В том числе:				
Контрольные работы	40	35	5	40
Расчетно-графические работы	30	25	5	40
Реферат	18	13	5	42
Вид промежуточной аттестации (зачёт, экзамен)	<b>36</b>	зачет	экзамен	экзамен
<b>Контактная работа (всего)</b>	<b>135</b>	69	66	18
Общая трудоемкость часы	<b>252</b>	144	108	144
зачётные единицы	7	4	3	

#### 5. Содержание дисциплины

##### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины

###### 1. Введение

Основные элементы матфизики для работы с курсом. Системы трёхмерных пространственных координат, время. Функциональные зависимости координат и времени, производная правила дифференцирования, Ряд Тейлора. Основы векторного анализа. Расстояние скорость и ускорение как векторы. Сила, законы Ньютона. Атмосферный континуум. Физические размерности и единицы измерения параметров атмосферы. Концепция масштабного анализа. Фундаментальные силы. Сила градиента давления, сила притяжения, сила трения. Видимые силы в неинерциальной системе координат. Центробежная сила и центростремительное ускорение. Сила тяжести. Сила Кориолиса и эффект кривизны. Инерциальные колебания. Структура статической атмосферы. Гидростатическое уравнение. Давление как вертикальная координата. Обобщённая вертикальная координата.

###### 2. Основные законы сохранения

Полная производная полевой характеристики. Полная производная вектора во вращающейся системе координат. Векторная форма уравнения движения воздуха во вращающейся системе координат. Запись уравнения в сферических координатах. Масштабный анализ уравнений движения. Геострофическое приближение и геострофический ветер. Приближённые прогностические уравнения число Россби. Гидростатическое приближение. Уравнение неразрывности (непрерыв-

ности). Вывод в Эйлеровых координатах, вывод в Лагранжевых координатах. Масштабный анализ уравнения непрерывности. Уравнение термодинамической энергии. Термодинамика сухой атмосферы. Потенциальная температура. Адиабатический градиент. Статическая устойчивость. Масштабный анализ уравнения термодинамической энергии.

### **3. Элементарные применения основных уравнений**

Основные уравнения в изобарических координатах. Уравнение горизонтального движения. Уравнение непрерывности. Уравнение термодинамической энергии. Сбалансированный поток. Естественные координаты. Геострофический поток. Инерциальный поток. Циклострофический поток. Приближение градиентного ветра. Траектории и потоки. Термальный ветер. Баротропная и бароклинная атмосфера. Вертикальное движение. Кинематический метод, Адиабатический метод. Тенденция поверхностного давления.

### **4. Циркуляция и завихренность**

Теорема о циркуляции. Завихренность в естественных координатах. Потенциальная завихренность. Уравнение завихренности. Представление в декартовых координатах. Представление в изобарических координатах. Масштабный анализ уравнения завихренности. Завихренность в баротропных жидкостях. Баротропное уравнение потенциальной завихренности (Уравнение Россби). Баротропное уравнение завихренности. Бароклинное уравнение потенциальной завихренности (вихрь Эртеля). Уравнения движения в изоэнтропических координатах. Уравнение потенциальной завихренности. Интегральные ограничения на изоэнтропическую завихренность.

### **5. Планетарный пограничный слой**

Атмосферная турбулентность. Приближение Буссинеску. Усреднение Рейнольдса. Турбулентная кинетическая энергия. уравнения движения планетарного пограничного слоя. Перемешанный пограничный слой. Потоково-градиентное описание. Гипотеза длинны перемешивания. Слой Экмана. Поверхностные слой. Модифицированный слой Экмана. Вторичная циркуляция.

### **6. Движения синоптического масштаба I**

Квазигеострофический анализ. Структура наблюдаемой внетропической циркуляции. Квазигеострофическое приближение. Масштабный анализ в изобарических координатах. Квазигеострофическое уравнение завихренности. Квазигеострофические предсказания. Тенденция геопотенциала. Квазигеострофическое уравнение потенциальной завихренности. Инверсия потенциальной завихренности. Вертикальная связь через потенциальную завихренность. Диагностика вертикального движения. Омега-уравнение. Вектор Q. Агеострофическая циркуляция.

### **7. Осцилляции атмосферы**

Линейная теория возмущений. Метод возмущений. Свойства волн. Преобразование Фурье. Дисперсия и групповая скорость. Простые типы волн. Акустические волны, звук. Волны на мелководье, волны тяжести. Внутренние волны тяжести (плавучести). Чистые внутренние волны тяжести. Топографические волны. Волны тяжести модифицированные вращением. Чистые инерционные колебания.

### **8. Движения синоптического масштаба II**

Бароклинная неустойчивость. Гидродинамическая неустойчивость. Двухслойная модель. Анализ линейных возмущений. Вертикальное движение в бароклинных волнах. Энергетика бароклинных волн. Доступная потенциальная энергия. Уравнения энергии для двухслойной модели. Бароклинная неустойчивость в непрерывно стратифицированной атмосфере. Логарифмические барические координаты. Теорема Рэлея для бароклинной неустойчивости. Проблема стабильности вихрей. Рост и распространение нейтральных мод. Развитие нисходящего потока.

### 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№№ разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1.	Геофизическая гидродинамика	2-8
2.	Синоптическая метеорология	6-8
3.	Теория общей циркуляции атмосферы	4-8
4.	Региональная синоптика	4-8
5.	Авиационная метеорология	5-8
6.	Численные методы анализа и прогноза погоды	2-8
7.	Математическое моделирование в задачах охраны окружающей среды	4-8
8	Теория климата	6-8

### 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах (очное/заочное)					
			Лекц.	Практ зан.	Се-мин.	Лаб. зан.	СРС	Всего
1.	Введение	Основные элементы матфизики для работы с курсом. Атмосферный континуум. Физические размерности и единицы измерения параметров атмосферы.	4/1	8/1				12/2
2.	Введение	Фундаментальные и видимые силы в атмосфере. Структура статической атмосферы.	2/1				4	8/1
3.	Основные законы сохранения	Векторная форма уравнения движения воздуха во вращающейся системе координат.	2/1				14/20	16/21
4.	Основные законы сохранения	Масштабный анализ уравнений движения.	2	2/1				4/1

5.	Основные законы сохранения	Уравнение неразрывности (непрерывности)	2	2/1				4/1
6.	Основные законы сохранения	Уравнение термодинамической энергии.	2	2				4
7.	Элементарные применения основных уравнений	Основные уравнения в изобарических координатах.	2					2
8.	Элементарные применения основных уравнений	Естественные координаты и сбалансированные потоки.	4/1	12/1				16
9.	Элементарные применения основных уравнений	Термальный ветер и вертикальное движение.	2			14/20		16/20
10.	Циркуляция и завихренность	Теорема о циркуляции и завихренности.	4/1					4
11.	Циркуляция и завихренность	Уравнение завихренности. Завихренность в баротропных жидкостях.	2					2
12.	Циркуляция и завихренность	Бароклинное уравнение потенциальной завихренности (вихрь Эртеля).	2	12/1				14/1
13.	Планетарный пограничный слой	Атмосферная турбулентность.	2					2
14.	Планетарный пограничный слой	Уравнения движения планетарного пограничного слоя.	4/1	12/1				16/2
15.	Планетарный пограничный слой	Слой Экмана и вторичная циркуляция.	2			14/20		16/20
16.	Движения синоптического масштаба I	Квазигеострофический анализ.	2	12/1				14/1

17.	Движения синоптического масштаба I	Квазигеострофические предсказания.	2					2
18.	Движения синоптического масштаба I	Диагностика вертикального движения. Идеальная модель бароклинного возмущения.	2				14/20	16/20
19.	Осцилляции атмосферы	Метод возмущений и свойства волн.	2	4			14/20	6/20
20.	Осцилляции атмосферы	Типы волн в атмосфере.	4/1					4/1
21.	Осцилляции атмосферы	Подстройка геострофического баланса и волны Россби.	2					2
22.	Движения синоптического масштаба II	Гидродинамическая неустойчивость.	2	12/1				14/1
23.	Движения синоптического масштаба II	Бароклинная неустойчивость непрерывно стратифицированной атмосферы.	4/1				14/22	18/23
24.	Движения синоптического масштаба II	Рост и распространение нейтральных мод.	2					2
	Итого		60/8	60/8			88/122	208/138

#### 6. Перечень семинарских, практических занятий лабораторных работ

№ п/п	№ раздела (модуля) и темы дисциплины	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Введение	Решение задач из высшей математики и векторного анализа.	8/1	Оценка в баллах	ПК-1 ПК-2
2	Основные законы сохранения	Решение задач по теме силы действующие в атмосфере.	6/1	Оценка в баллах	ПК-1 ПК-2



3	Элементарные применения основных уравнений	Решение задач по теме свойства сбалансированных потоков	12/1	Оценка баллах	в ПК-1 ПК-2
4	Циркуляция и завихренность	Решение задач по теме свойства циркуляции и завихренности. Вихрь Эртеля.	12/1	Оценка баллах	в ПК-1 ПК-2
5	Планетарный пограничный слой	Решение задач по теме атмосферная турбулентность.	12/1	Оценка баллах	в ПК-1 ПК-2
6	Движения синоптического масштаба I	Решение задач по теме казигеостровфический анализ.	12/1	Оценка баллах	в ПК-1 ПК-2
7	Осцилляции атмосферы	Решение задач по теме свойства волн в атмосфере.	4/1	Оценка баллах	в ПК-1 ПК-2
8	Движения синоптического масштаба II	Решение задач по теме бароклинная неустойчивость.	12/1	Оценка баллах	в ПК-1 ПК-2

### 6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Введение. Высшая математика и векторный анализ.	Решение задач	Решить задачи по соответствующей теме выставленные на образовательном портале ИГУ в разделе «Динамическая метеорология»	Дополнительная [9]	4
3	Введение.	Написание реферата	Привести пример инерциальных колебаний возникающих вследствие вращения земли.	Основная [1,2]	19/20
4	Введение.	Выполнить вывод формул и интерпретацию явления	Рассмотреть производную функцию монотонно изменяющуюся с высотой как вертикальную координату.	Основная [1,2]	12/20
5	Основные законы сохранения	Решение задач	Решить задачи по соответствующей теме выставленные на образовательном портале ИГУ в разделе «Динамическая метеорология»	Основная [1,2]	12/20
9	Элементарные применения основных уравнений	Решение задач	Решить задачи по соответствующей теме выставленные на образовательном портале ИГУ в разделе «Динамическая метеорология»	Основная [1,2]	13/20

11	Элементарные применения основных уравнений	Выполнить вывод формул и интерпретацию явления	Записать и интерпретировать формулы для оценки поведения ветра и давления при приближении возмущения синоптического масштаба.	Основная [1,2] Дополнительная [2,3]	14/20
13	Циркуляция и завихренность	Решение задач	Решить задачи по соответствующей теме выставленные на образовательном портале ИГУ в разделе «Динамическая метеорология»	Основная [1,2] Дополнительная [2,3]	14/22
	Всего:				88/122

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Решение задач последовательно по темам всего курса «Динамическая метеорология». Написание рефератов, составление в письменном виде докладов по выбранной самостоятельно или заданной теме по Динамической метеорологии. Написание курсовых работ, по теме, согласованной с руководителем.

## 7. Примерная тематика курсовых работ (проектов):

Курсовых работ не предусмотрено.

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

### а) основная литература

1. Динамика атмосферы: учеб. для студ., обуч. по направл. подгот. "Гидрометеорология" и спец. "Метеорология" и "Метеорология спец. назначения" / В. В. Клёмин [и др.] ; ред.: С. С. Суворов, В. В. Клёмин ; Военно-космическая акад. им. А. Ф. Можайского. - СПб. : Наука, 2013. - 421 с. (30 экз)

2 **Калинин, Николай Александрович** Динамическая метеорология [Текст] : учебник / Н. А. Калинин. - 2-е изд., испр. - Пермь : Кн. изд-во, 2009. - 255 с. (15 экз.).

3. **Барашкова, Н. К.** Динамическая метеорология [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс / Н. К. Барашкова, И. В. Кужевская ; Томский гос. ун-т, Ин-т дистанц. образования. - Электрон. текстовые дан. - Томск : Изд-во ТГУ, 2007. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

4. **Аргучинцев, Валерий Куприянович** Динамическая метеорология [Текст] : учеб. пособие / В. К. Аргучинцев ; Иркутский гос. ун-т. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2009. - 164 с. (56 экз.).

### б) дополнительная литература

4. **Шефов, Николай Николаевич** Излучение верхней атмосферы - индикатор ее структуры и динамики [Текст] / Н. Н. Шефов, А. И. Семенов, В. Ю. Хомич ; Рос. акад. наук. - М. : Геос, 2006. - 741 с. (2 экз.).

5. **Обухов, Александр Михайлович** Турбулентность и динамика атмосферы [Текст] : избр. тр. / А. М. Обухов ; предисл. Г. С. Голицын ; коммент. А. М. Яглом. - Л. : Гидрометеиздат,

1988. - 413 с. (5 экз.).

6. **Сергеев, Н. И.** Введение в динамическую метеорологию [Текст] : учеб. пособие / Н. И. Сергеев, В. К. Аргучинцев ; Иркутский гос. ун-т им. А. А. Жданова. - Иркутск : [б. и.], 1974. - 215 с. (4 экз.).

7. **Мелкая, Ирина Юрьевна** Практикум по курсу "Динамическая метеорология" [Текст] : учеб. пособие / И. Ю. Мелкая ; Ленинградский гидромет. ин-т. - Л. : Изд-во ЛПИ, 1980. - 88 с. (1 экз.).

8. **Кибель, Илья Афанасьевич** Избранные работы по динамической метеорологии [Текст] / И. А. Кибель ; Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды, Гидрометеорол. науч.-исслед. центр СССР. - Л. : Гидрометеиздат, 1984. - 279 с. (1 экз.).

9. **Борисенко Александр Иванович.** Векторный анализ и начала тензорного исчисления [Текст]. Учебник. / Борисенко Александр Иванович, Тарапов Иван Евгеньевич. Издат. Высшая школа. М. 1966. 248 с. (5 экз.).

10. **Динамическая метеорология.** [Текст]. Учебник./ Под редакцией Лайхтмана Давида Львовича. Л. Гидрометеиздат. 1976. 608 с.

11. **Матвеев Леонид Тихонович.** [Текст]. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы./ Л.: Гидрометеиздат, 1984. 752 с.

в) программное обеспечение

пакет Microsoft Office для Windows, Stadia, Statgraf, Surfer, Matlab, ГИС «МЕТЕО» и ГИС «ОКЕАН»

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. архив NCEP/NCAR Reanalysis

2. <http://climate.mecom.ru/>

3. <http://nplit.ru/books/item/f00/s00/z0000053/index.shtml>

4. <http://www.mgo.rssi.ru/publik.html>

5. <http://www.climate.kz/rus/>

6. <http://www.nwipc.ru/uncert.htm>

7. <http://www.meteoinfo.ru/> - сайт ФГБУ "Гидрометцентр России".

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

### Оборудование

Учебная база, оборудованная стандартными метеорологическими приборами, с помощью которых представлена возможность провести численные сравнения с результатами теоретических расчетов.

Компьютеры с большим набором программ для самостоятельного моделирования как простых, так и сложных метеорологических процессов и явлений.

### Материалы

1. Методическая и специальная учебная литература по различным разделам динамической метеорологии.
2. Метеорологические справочники. Синоптические атласы, климатические карты и другие пособия

## 10. Образовательные технологии:

- Семинарские занятия с использованием Образовательного портала ИГУ и Zoom;
- Лекции с использованием Образовательного портала ИГУ и Zoom;

- Учебные конференции (очные и с использованием Zoom) с представлением учащимися самостоятельно подготовленных докладов; проведение лекционных занятий сопровождается мультимедийными презентациями.

### 11. Оценочные средства (ОС):

Оценочные средства для самоконтроля обучающихся – проверка рефератов, собеседования, консультации.

11.1. Оценочные средства для входного контроля – не предусмотрены

11.2. **Оценочные средства текущего контроля** – тесты, контрольные работы, контроль выполнения практических работ

11.3 **Оценочные средства для промежуточной аттестации** – в соответствии с учебным планом очного отделения: 6 семестр – зачёт; 7 семестр – устный экзамен.

Оценочные средства для промежуточной аттестации (в форме экзамена или зачета).

*Данный раздел программы может быть представлен следующим образом:*

#### Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Контрольные работы	По всем разделам курса Динамическая метеорология	ПК-1 ПК-2
2	Тесты	По всем разделам курса Динамическая метеорология	ПК-1 ПК-2
3	Зачеты	По всем разделам курса Динамическая метеорология	ПК-1 ПК-2
4	Экзамены	По всем разделам курса Динамическая метеорология	ПК-1 ПК-2

#### Демонстрационный вариант контрольной работы

1. Волны Россби. Длина волн, скорость волн, групповая скорость волн. Связь волн Россби с процессами циклогенеза.
2. При каких условиях скорость ветра в циклоне и антициклоне одинакова на расстоянии 250 км от центра
3. Рассчитать графически зависимость термического ветра от широты места в пределах  $20^{\circ} \div 90^{\circ}$  (через  $10^{\circ}$ ) при неизменных внешних условиях.

#### Демонстрационный вариант теста

1. Может ли скорость ветра в свободной атмосфере обращаться в ноль.

Ответы: - не может;

- может на определенной высоте;

- может;

### Вопросы для собеседования

1	Основные уравнения гидротермодинамики. Силы, действующие в атмосфере
2	Основные уравнения гидротермодинамики. Сила тяжести
3	Основные уравнения гидротермодинамики. Сила барического градиента
4	Основные уравнения гидротермодинамики. Сила Кориолиса
5	Основные уравнения гидротермодинамики. Сила трения
6	Уравнения движения Навье-Стокса применительно к атмосферным течениям
7	Крупномасштабные движения в свободной атмосфере Механизм возникновения силы барического градиента в атмосфере
8	Лучистая энергия. Уравнение переноса лучистой энергии Модели радиационного равновесия. Парниковый эффект. Эффекты конвекции
9	Уравнения гидротермодинамики в различных системах координат
10	Пограничные слои в атмосфере. Приземный слой атмосферы
11	Поверхности раздела и фронты в атмосфере. Масштабы фронтов
12	Описать уравнения гидротермодинамики мезо процессов. Определение местных ветров, явление свободной и вынужденной конвекции.
13	Термический ветер и термическая адвекция (вывод уравнений)
14	Общие уравнения гидротермодинамики атмосферы
15	Общая циркуляция атмосфер планет Солнечной системы. Основные положения теории ОЦА и климата
16	Энергетика атмосферы. Кинетическая энергия атмосферных течений. Турбулентная энергия воздушных потоков
17	Турбулентная диффузия и перенос примесей в атмосфере

### Вопросы для коллоквиума

1	Основные уравнения гидротермодинамики
2	Крупномасштабные движения в свободной атмосфере
3	Уравнения гидротермодинамики в различных системах координат
4	Лучистая энергия
5	Пограничные слои в атмосфере
6	Поверхности раздела и фронты в атмосфере
7	Вопросы мезометеорологии
8	Общая циркуляция атмосфер планет Солнечной системы
9	Введение в теорию ОЦА и климата

10	Энергетика атмосферы
11	Турбулентная диффузия и перенос примесей в атмосфере

### Тематика заданий для самостоятельной работы

1. Пульсационные и осредненные характеристики турбулентных течений.
2. Стационарные турбулентные течения воздуха в атмосфере, их статистические характеристики.
3. О физическом смысле отдельных слагаемых уравнения баланса энергии турбулентности.
4. Приведение к безразмерному виду уравнений движения.
5. Выбор масштабов метеорологических величин при упрощении системы уравнений.
6. Поворот ветра с высотой в свободной атмосфере, явление обращения ветра. Описать расчетную схему.
7. Определить характерные условия, по которым выделяется приземный слой атмосферы.
8. Оценить высоту приземного слоя атмосферы в зависимости от его устойчивости.

### Тематика рефератов

1. Молекулярная и турбулентная вязкость воздуха в атмосфере. Турбулентные напряжения и скорости деформации воздушных частиц.
2. Планетарный пограничный слой. Ветер и потоки тепла в планетарном пограничном слое.
3. Уравнения движения воздуха свободной атмосферы.
4. Изменение давления воздуха с высотой и действие силы барического градиента в различных слоях атмосферы.
5. Оценка силы Кориолиса воздушных течений разных пространственных масштабов.
6. Волны Россби и образование атмосферных вихрей.
8. Перенос вихря в атмосфере.

### Примерный перечень вопросов и заданий к зачету и экзамену

Динамическая метеорология:

#### **Вопросы**

1. Поля метеорологических элементов и их характеристики.
2. Линии тока и траектории частиц воздуха. Поток вектора скорости через поверхность.
3. Дивергенция вектора скорости ветра, циркуляция вектора скорости. Вихрь скорости.
4. Изменение метеорологических элементов во времени. Полная и частная производные по времени.
5. Основные статистические характеристики метеорологических полей.
6. Деформация воздушной частицы и теорема Коши-Гельмгольца о разложении скорости движения.
7. Силы, действующие в атмосфере.
8. Уравнения движения на вращающейся Земле в векторной форме.
9. Декартова и натуральная системы координат.
10. Уравнения движения в локальной декартовой системе координат,
11. Уравнения движения в сферической системе координат. Уравнения движения в цилиндрической системе координат.

12. Уравнения неразрывности и баланса атмосферных примесей.
13. Уравнение дивергенции, уравнение вихря, уравнение потенциального вихря.
14. Основные представления теории атмосферной турбулентности.
15. Определение турбулентных напряжений. Вертикальные турбулентные потоки в атмосфере.
17. Уравнения гидродинамики для турбулентной атмосферы, вывод уравнений осредненного движения.
18. Влияние турбулентности воздуха на атмосферные течения и вертикальное расслоение атмосферы.
19. Уравнение состояния атмосферного воздуха и виртуальная температура.
20. Первое начало термодинамики. Адиабатические процессы и потенциальная температура.
21. Условия вертикальной устойчивости атмосферы. Энергия неустойчивости.
22. Второе начало термодинамики. Понятие об энтропии.
23. Уравнение притока тепла. Мощность конвекции.
24. Лучистая энергия. Закон Кирхгофа. Формула Стефана–Больцмана, закон смещения Вина.
25. Ослабление Лучистой энергии в атмосфере. Закон Бугера-Ламберта.
26. Уравнения переноса длинноволновой радиации и их интегрирование.
24. Упрощенные уравнения для крупномасштабных движений атмосферы: геострофический и градиентный ветры, потоки Куэтта и Пуазейля.
25. Особенности атмосферных движений в свободной атмосфере. Термический ветер.
26. Термическая адвекция, поворот ветра с высотой в свободной атмосфере.
27. Агеострофический ветер. Определение вертикальной скорости на основе уравнений неразрывности и вихря скорости.
28. Пограничные слои в атмосфере. Изменение ветра с высотой в планетарном пограничном слое.
29. Профили метеорологических величин в приземном слое.
30. Принципы записи уравнений гидротермодинамики в разных системах координат: в Р - системе координат, в у-системе координат и в в - системе координат.
31. Инерционные волны в баротропной атмосфере (волны Россби).
32. Инерционные волны (волны Россби) на сфере.
33. Баротропная сдвиговая неустойчивость,
34. Внешние гравитационные волны.
35. Гравитационно-инерционные волны в геострофическом потоке.
36. Волны Пуанкаре и Кельвина.
37. Акустические волны.
38. Внутренние гравитационные волны.
39. Адаптация полей ветра и давления,
40. Виды энергий. Баланс различных видов энергии.
41. Уравнение энергии, переходы одних видов энергии в другие.
42. Атмосферные фронты: фронтогенез и фронтолиз.
43. Распространение примеси в турбулентном пограничном слое атмосферы и постановка задачи о распространении примеси.
44. Понятие о пространственном спектре неоднородностей метеовеличин.
45. Условия и механизм формирования суточных колебаний метеовеличин.

### *Задачи*

- 1 Два шарика диаметром 4 см размещены на расстоянии 100 м друг от друга на горизонтальной плоскости находящейся около 43° СШ. Шарики толкают во встречном направлении так, чтоб они двигались с равными скоростями по плоскости без трения. С какой скоростью они должны двигаться, чтобы не столкнуться друг с другом вследствие силы Кориолиса?
- 2 Покажите, что однородная атмосфера (плотность не зависит от высоты) имеет конечную высоту, которая зависит только от температуры на нижней границе. Вычислить высоту однородной атмосферы с температурой поверхности  $T_0 = 273\text{К}$  и давлением на поверхности 1000 гПа. (Используйте закон идеального газа и уравнение гидростатического баланса)
- 3 Температура в точке в 50 км к северу от станции на 3°С ниже, чем на станции. Если ветер дует с северо-востока со скоростью 20 м / с, а воздух нагревается излучением со скоростью 1 ° С / ч, определите каково локальное изменение температуры на станции?
- 4 Предположим, что частица воздуха находящаяся в покое покоя на уровне 800 гПа и начинает подниматься вертикально до уровня 500 гПа, сохраняя при этом постоянное превышение температуры 1 ° С относительно окружающей среды. Предполагая, что средняя температура слоя от 800 до 500 гПа составляет 260 К, вычислите энергию, приобретённую за счёт силы плавучести. Предполагая, что вся приобретаемая энергия переходит в кинетическую энергию частицы, определить какова будет её вертикальная скорость на 500 гПа?
- 5 Фактический ветер направлен на 30 ° вправо от геострофического ветра. Если геострофический ветер составляет 20 м / с, какова скорость изменения скорости ветра при  $f = 10^{-4} \text{с}^{-1}$ ?
- 6 Предположим, что во время прохождения циклонической бури радиус кривизны изобар составляет 800 км на станции, где ветер поворачивает (поворачивается по часовой стрелке) со скоростью 10 ° в час. Каков радиус кривизны траектории для воздушного участка, проходящего над станцией? (Скорость ветра составляет 20 м / с.)
- 7 Какова циркуляция на площади в виде квадрата со стороной 1000 км для восточного (т. е. дующего с запада) ветра, который уменьшается по величине к северу со скоростью 10 м / с на 500 км? Какова средняя относительная завихренность в квадрате?
- 8 Циклонический вихрь находится в циклострофическом равновесии с профилем тангенциальной скорости, заданным выражением  $V = V_0 (r / r_0)^n$ , где  $V_0$  - составляющая тангенциальной скорости на расстоянии  $r_0$  от центра вихря. Вычислить циркуляцию вокруг линии тока в радиусе  $r$ , завихренность в радиусе  $r$  и давление в радиусе  $r$ . (Пусть  $p_0$  будет давлением в точке  $r_0$  и предположим, что плотность постоянна)
- 9 Для ламинарного потока во вращающемся цилиндрическом сосуде, заполненном водой (молекулярная кинематическая вязкость  $\nu = 0,01 \text{см}^2 \text{с}^{-1}$ ), вычислите глубину слоя Экмана и время замедления, если глубина жидкости составляет 30 см, а скорость вращения танка составляет 10 оборотов в минуту. Каким должен быть радиус резервуара, чтобы шкала времени вязкой диффузии от боковых стенок была сопоставима со временем замедления?
- 10 Предположим, что на поверхности 500 гПа относительная завихренность в определенном месте на широте 45° N увеличивается со скоростью  $3 \times 10^{-6} \text{с}^{-1}$  за 3 часа. Ветер дует с юго-запада со скоростью 20 м / с, и относительная завихренность уменьшается в направлении северо-востока со скоростью  $4 \times 10^{-6} \text{с}^{-1}$  на 100 км. Используйте уравнение квазигеострофиче-



ской завихренности для оценки горизонтальной дивергенции в этом месте на  $\beta$ -плоскости.

11 (а) Показать, что собственный вектор групповой скорости в двумерных внутренних гравитационных волнах параллелен линиям постоянной фазы. (б) Показать, что в длинноволновом пределе ( $|k| \gg m$ ) величина зональной составляющей групповой скорости равна величине зональной фазовой скорости, так что энергия распространяется на одну длину волны за период волны.

12 Вычислите общую потенциальную энергию на единицу площади поперечного сечения для атмосферы с адиабатической скоростью перепада, учитывая, что температура и давление на земле равны  $p = 105$  Па и  $T = 300$  К соответственно.

13 Предположим, что масса воздуха в восходящем кумулюсе увеличивается экспоненциально с высотой, так что  $m = m_0 e^{z/H}$ , где  $H = 8$  км, а  $m_0$  - масса на контрольном уровне. Если скорость восходящего потока составляет  $3$  м/с на высоте  $2$  км, каково ее значение на высоте  $8$  км, если предположить, что восходящий поток имеет нулевую чистую плавучесть?

14 Вычислите поверхностный крутящий момент на единицу горизонтальной площади, оказываемой на атмосферу топографией для следующего распределения поверхностного давления и высоты поверхности:

$$p = p_0 + p' \sin kx, \quad h = h' \sin (kx - \gamma)$$

где  $p_0 = 1000$  гПа,  $p' = 10$  гПа,  $h' = 2,5 \times 10^3$  м,  $\gamma = \pi/6$  рад и  $k = 1/(a \cos \varphi)$ , где  $\varphi = \pi/4$  радиан - это широта, а  $a$  - радиус Земли. Выразите ответ в  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$ .

15 Предположим, что относительная завихренность в верхней части экмановского слоя при  $15^\circ\text{N}$  составляет  $\zeta = 2 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ . Пусть коэффициент вихревой вязкости равен  $K_m = 10 \text{ м}^2/\text{с}$ , а коэффициент смешивания водяного пара в верхней части слоя Экмана -  $12 \text{ г}/\text{кг}$ . Оцените интенсивность осадков из-за сходимости влаги в слое Экмана.

16 Предположим, что температура растет линейно с высотой в слое от  $20$  до  $50$  км со скоростью  $2 \text{ К}/\text{км}$ . Если температура составляет  $200 \text{ К}$  на  $20$  км, найдите значение высоты шкалы  $H$ , для которой высота логарифмического давления  $z$  совпадает с фактической высотой на  $50$  км. (Предположим, что  $z$  совпадает с фактической высотой в  $20$  км, и пусть  $g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$  будет константой)

**Разработчик:**



(подпись)

доцент

(занимаемая должность)

Р.В. Васильев

(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры  
метеорологии и физики околоземного космического пространства  
«7» апреля 2020 г.

Протокол № 5 и.о. зав. кафедрой



Латышева И.В.

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**

**Лист согласования, дополнений и изменений  
на 2020/2021 учебный год**

К рабочей программе дисциплины **Б1.В.05 «Динамическая метеорология»** по направлению подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология», направленность (профиль) «Метеорология»:

Лекции подготовлены в дистанционном формате для образовательной платформы Иркутского государственного университета «edusa».

Изменения одобрены Ученым Советом географического факультета, протокол № 5 от 07 апреля 2020 г.

И. о. зав. кафедрой метеорологии и физики  
околоземного космического пространства



Латышева И.В.