

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

Рабочая программа дисциплины

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ГИДРОДИНАМИКА

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки

05.03.05 Прикладная гидрометеорология

Направленность (профиль):

Прикладная метеорология

Уровень:

Бакалавриат

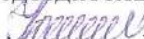
Форма обучения

Очная/заочная

Согласовано
Руководитель ОПОП

 Волобуева О. В.

Председатель УМС

 И.И. Палкин

Рекомендована решением
Учебно-методического совета РГГМУ

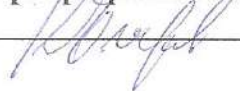
13 мая 2021 г., протокол № 8

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры

11 мая 2021 г., протокол № 9

Зав. кафедрой  Кузнецов А.Д.

Авторы-разработчики:

 Егоров К.Л.

Санкт-Петербург 2021

1. Цели освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины «Геофизическая гидродинамика» – подготовка бакалавров, владеющих глубокими теоретическими знаниями и практическими навыками в объеме, необходимом для анализа физических взаимосвязей между параметрами изучаемых гидродинамических процессов в атмосфере и в океане и причинами, их определяющими, с учётом особенностей, обусловленных такими факторами, как вращение Земли, плотностная стратификация, трение и орография.

Основные задачи дисциплины направлены на освоение студентами:

- теоретических основ математического описания гидродинамических процессов во вращающейся системе координат;
- теоретических принципов упрощения уравнений в задачах по изучению гидродинамических явлений с различными характерными масштабами, свойственными динамике атмосферных и океанических движений;
- результатов анализа взаимосвязей между параметрами составных элементов сложной структуры течений в атмосфере и в океанах и упомянутыми выше геофизическими факторами;
- практических навыков решения задач по определению конкретных значений физических параметров в различных гидрометеорологических явлениях.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина «Геофизическая гидродинамика» для направления подготовки 05.03.05 – Прикладная гидрометеорология, относится к обязательным дисциплинам вариативной части образовательной программы.

Для освоения данной дисциплины, обучающиеся должны освоить разделы дисциплин: «Математика», «Физика», «Геофизика», «Физическая метеорология. (Физика атмосферы, океана и вод суши)», «Теоретическая механика», «Гидромеханика».

Параллельно с дисциплиной «Геофизическая гидродинамика» изучаются «Вычислительная математика», «Теория вероятности и математическая статистика», «Методы наблюдения и анализа в гидрометеорологии» и др.

Дисциплина «Геофизическая гидродинамика» является базовой для изучения дисциплин: «Экология», «Динамическая метеорология», «Атмосферное электричество», «Физика облаков», «Методы и средства контроля загрязнения атмосферы», «Вихревая динамика», «Ассимиляция гидрометеорологических данных», «Численные методы математического моделирования», «Автоматизированные методы обработки гидрометеорологической информации», «Методы зондирования окружающей среды», «Синоптическая метеорология», «Космическая метеорология», «Авиационная метеорология», «Численное моделирование изменчивости состава атмосферы», «Численное моделирование изменчивости климата» и др.

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций: ПК-2.1

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Результаты обучения
ПК-2 Способен анализировать явления и процессы природной среды, выявлять их закономерности	ПК-2.1 Осуществляет анализ явлений и процессов, происходящих в природной среде, на основе данных наблюдений, экспериментальных и модельных данных	Знать: – причины, приводящие к особенностям проявления основных физических законов в динамических и термических процессах в атмосфере и океане на вращающейся Земле , – наиболее характерные типы движений в атмосфере и в океане; – взаимосвязи между параметрами наиболее характерных процессов и факторами, их определяющими Уметь: – применить принцип упрощения и выбрать нужную форму уравнений для описания отдельных типов движений ; – объяснить физический механизм и определить условия существования и развития различных гидродинамических процессов Владеть: - знаниями о перспективных направлениях развития и возможностях использования механики жидкости и газа при решении основных и прикладных задач ; - навыками использования полученных результатов при анализе физических процессов и явлений, происходящих в системе Земля – атмосфера .

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 академических часа.

Объём дисциплины	Всего часов	
	Очная форма обучения	Заочная форма обучения
Общая трудоёмкость дисциплины	108 часов	108 часов
Контактная работа обучающихся с преподавателям (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	42	12
в том числе:		
лекции	14	4
практические занятия	28	12
Самостоятельная работа (СРС) – всего:	66	96
в том числе:		
курсовая работа	-	
контрольная работа	-	
Вид промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	экзамен	экзамен

4.2. Структура дисциплины

Очное обучение

№ п/п	Раздел и тема Дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций ^К
			Лекции	Практич. работа	Самост. работа			
1	Основные уравнения динамики жидкости на вращающейся Земле и их анализ	4	0	2	6	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
2	Уравнения гидродинамики для турбулентного	4	2	4	6	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1

	течения							
3	Подобие гидродинамических движений на вращающейся Земле	4	2	2	6	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
4	Простейшие типы движений жидкости при отсутствии трения	4	2	4	8	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	ПК-2	ПК-2.1
5	Вихревая динамика	4	2	2	8	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2,	ПК-2.1
6	Волны в геофизических средах	4	2	2	6	Вопросы и ответы в баллах		ПК-2.1
7	Планетарные пограничные слои (ППС)	4	0	4	6	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
8	Основные элементы общей циркуляции атмосферы	4	2	4	8	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
9	Баротропная неустойчивость	4	2	2	6	Опрос	ПК-2	ПК-2.1
10	Особенности крупномасштабной структуры океанических течений	4	0	2	6	Опрос	ПК-2	ПК-2.1
	ИТОГО		14	28	66			
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена					108 часа			

Заочное обучение

№ п/п	Раздел и тема Дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля успеваемости	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций ^к
			Лекции	Практич. работа	Самост. работа			
1	Основные уравнения	6	0	0	10	Вопросы и ответы в	ПК-2	ПК-2.1

	динамики жидкости на вращающейся Земле и их анализ					баллах		
2	Уравнения гидродинамики для турбулентного течения	6	2	2	12	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
3	Подобие гидродинамических движений на вращающейся Земле	6	0	2	10	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
4	Простейшие типы движений жидкости при отсутствии трения	6	2	2	16	Вопросы и ответы в баллах, контрольное расчетное задание	ПК-2	ПК-2.1
5	Вихревая динамика	6	0	0	12	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2,	ПК-2.1
6	Волны в геофизических средах	6	0	0	12	Вопросы и ответы в баллах		ПК-2.1
7	Планетарные пограничные слои (ППС)	6	0	0	8	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
8	Основные элементы общей циркуляции атмосферы	6	0	2	6	Вопросы и ответы в баллах	ПК-2	ПК-2.1
9	Баротропная неустойчивость	6	0	0	6	Опрос	ПК-2	ПК-2.1
10	Особенности крупномасштабной структуры океанических течений	6	0	0	4	Опрос	ПК-2	ПК-2.1
	ИТОГО		4	8	96			
С учётом трудозатрат при подготовке и сдаче экзамена					108 часа			

4.3. Содержание разделов дисциплины

4.3.1 Основные уравнения динамики жидкости и их анализ

Уравнения движения и неразрывности как отражение законов сохранения количества движения и массы. Реальные силы, действующие в жидкости. Связь скоростей и ускорений в неподвижной и вращающейся системах координат. Ускорение Кориолиса. Сила тяжести и сила Кориолиса. Уравнения движения во вращающейся системе координат.

Уравнения движения в сферической системе координат, связанной с вращающейся Землёй.

Закон сохранения энергии. Уравнение притока тепла. Уравнения переноса других субстанций. Уравнение состояния.

Уравнение статики, его следствия. Геопотенциал и его изменения.

Квазистатические вертикальные перемещения элементов среды и их термодинамические эффекты.

4.3.2 Уравнения гидродинамики для турбулентного течения

Турбулентное движение, средние величины и флуктуации. Осреднение физических полей в турбулентном потоке. Осреднение уравнений движения, неразрывности, переноса тепла, водяного пара и примеси. Турбулентные потоки и притоки различных субстанций.

4.3.3 Подобие гидродинамических движений на вращающейся Земле

Характерные масштабы и безразмерные величины. Приведение уравнений к безразмерному виду. Безразмерные комплексы и критерии подобия.

Принцип упрощения уравнений. Классификация движений по характерным масштабам и критериям подобия.

4.3.4 Простейшие типы движений жидкости при отсутствии трения

Геострофическое движение. Градиентное движение по криволинейным изобарам. Циклострофическое движение. Инерционные движения, круги инерции.

Изменение горизонтального барического градиента и геострофического движения с высотой.

Поверхности раздела, основные свойства. Наклон поверхности раздела. Особенности динамики течений в экваториальной зоне.

4.3.5 Вихревая динамика

Уравнения теории мелкой воды. Интегральные соотношения. Абсолютный и относительный вихрь скорости. Уравнение переноса вихря. Условие сохранения абсолютного вихря. Потенциальный вихрь.

4.3.6 Волны в геофизических средах

Уравнения линейной теории волн. Звуковые волны. Гравитационные волны в стратифицированной среде. Волны на поверхности раздела.

Влияние вращения Земли на гравитационные волны. Инерционные волны Россби, их фазовая и групповая скорости. Орографические волны, волны Кельвина.

4.3.7 Планетарные пограничные слои (ППС)

Уравнения движения для стационарного, горизонтально однородного ППС. Распределение скорости и сил по высоте в верхнем слое океана и в пограничном слое атмосферы, толщина ППС.

4.3.8 Основные элементы общей циркуляции атмосферы

Основной характер переноса воздушных масс в средних широтах и в экваториальной зоне. Ячейки Гадлея.

4.3.9 Баротропная неустойчивость

Неустойчивость гравитационных волн в среде с вертикальным сдвигом скорости. Влияние меридионального сдвига скорости на устойчивость планетарных волн в зональном потоке.

4.3.10 Особенности крупномасштабной структуры океанических течений

Течение Свердруп. Западные пограничные слои, влияние рельефа дна. Экваториальные противотечения.

4.4. Содержание занятий семинарского типа

Содержание лабораторных занятий для очной формы обучения

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
1	1	Дифференциальные характеристики метеорологических полей	Лабораторное занятие	ПК-2
2	2	Кинематические характеристики потока	Лабораторное занятие	ПК-2
3	3,4	Связь между индивидуальной, локальной и конвективной производными	Лабораторное занятие	ПК-2
4	4	Геострофическое, градиентное и инерционное движение	Лабораторное занятие	ПК-2
5	4	Термический ветер	Лабораторное занятие	ПК-3
6	5	Динамика вихря	Лабораторное занятие	ПК-2
7	6	Гравитационные волны	Лабораторное занятие	ПК-2
8	6	Планетарные волны Россби	Лабораторное занятие	ПК-2
9	7	Спираль Экмана	Лабораторное занятие	ПК-2
10	8	Общая циркуляция атмосферы	Лабораторное занятие	ПК-2

Содержание лабораторных занятий для заочной формы обучения

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика занятий	Форма проведения	Формируемые компетенции
-------	----------------------	------------------	------------------	-------------------------

1	1	Дифференциальные характеристики метеорологических полей	Лабораторное занятие	ПК-2
2	3,4	Связь между индивидуальной, локальной и конвективной производными	Лабораторное занятие	ПК-2
3	4	Геострофическое, градиентное и инерционное движение	Лабораторное занятие	ПК-2
4	4	Термический ветер	Лабораторное занятие	ПК-3
5	5	Динамика вихря	Лабораторное занятие	ПК-2
6	8	Общая циркуляция атмосферы	Лабораторное занятие	ПК-2

5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов и оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале. Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр – 100:

- максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля - 60
- максимальное количество баллов за посещение лекционных занятий - 10
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации - 30

6.1. Текущий контроль

Типовые задания, методика выполнения и критерии оценивания текущего контроля по разделам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

6.2. Промежуточная аттестация

Форма промежуточной аттестации по дисциплине – **экзамен**/

Форма проведения экзамена: устно по билетам,

Перечень вопросов для подготовки к экзамену

ПК-2

1. Законы сохранения импульса и массы, их следствия (уравнения гидродинамики). Реальные силы, действующие в сплошной среде.
2. Связь изменений произвольного вектора в неподвижной и вращающейся системах координат.
3. Связь ускорений в неподвижной и вращающейся системе координат.
4. Центробежная сила вращения Земли, её проявление. Сила тяжести.
5. Сила Кориолиса, её проявление.
6. Баланс сил в статических условиях, основные следствия.
7. Геопотенциал, его связь с давлением.

8. Связь между горизонтальным барическим градиентом, наклоном изобарических поверхностей и горизонтальным градиентом геопотенциала изобарических поверхностей.
9. Связь изменений абсолютного и относительного геопотенциалов изобарических поверхностей с изменениями давления и температуры.
10. Первое начало термодинамики, уравнение притока тепла. Уравнение состояния для атмосферы и океана.
11. Изменение температуры в частице воздуха при её вертикальных квазистатических перемещениях.
12. Связь между температурой и давлением в частице воздуха при адиабатических процессах. Потенциальная температура.
13. Связь между изменениями по вертикали абсолютной и потенциальной температур. Преобразование уравнения притока тепла с использованием потенциальной температуры.
14. Условия вертикальной статической устойчивости индивидуальной частицы (в океане и в атмосфере) и самой среды. Критерии устойчивости.
15. Турбулентность: понятие и условия возникновения.
16. Осреднение физической величины в турбулентном потоке. Выбор периода осреднения. Спектр атмосферных движений.
17. Правила осреднения физических величин.
18. Приведение уравнений переноса различных субстанций к дивергентной форме. Осреднение уравнений.
19. Тензор турбулентных касательных напряжений и турбулентные потоки других субстанций. Связь между турбулентными потоками и полями средних величин.
20. Характерные масштабы, безразмерные функции.
21. Приведение уравнения движения к безразмерному виду. Критерии подобия.
22. Классификация атмосферных движений. Спектр атмосферных движений.
23. Условия упрощения уравнений для стационарных, горизонтально-однородных, плоских течений.
24. Условия упрощения уравнений движения для свободной атмосферы, пограничного слоя и приземного слоя.
25. Упрощение уравнений движения в проекции на вертикальную ось.
26. Установившееся движение в свободной атмосфере в поле прямолинейных и круговых изобар.
27. Связь между скоростью движения по круговым изобарам и геострофической величиной ветра. Приближённые формулы при больших радиусах кривизны изобар.
28. Инерционные движения в поле силы Кориолиса и циклострофический ветер.
29. Связь между значениями горизонтального градиента давления на различных высотах.
30. Изменение геострофического ветра с высотой. Термический ветер.
31. Геострофическая адвекция температуры. Её связь с изменением ветра по высоте.
32. Агеострофические отклонения в свободной атмосфере. Их связь с ускорением. Формирование вертикальных движений в свободной атмосфере за счёт агеострофических отклонений.
33. Вихрь скорости относительный, переносный и абсолютный. Связь относительного вихря с полем давления.
34. Уравнение вихря. Факторы, приводящие к изменению относительного вихря. Условия сохранения абсолютного вихря.
35. Поверхности раздела в атмосфере. Типы разрывов. Примеры формирования поверхностей раздела.
36. Динамические и кинематические условия на поверхности раздела.
37. Ориентация поверхности раздела в пространстве. Связь её наклона с полем давления.

38. Связь между наклоном поверхности раздела и разрывами параметров среды (скоростью ветра и температуры).
39. Связь между вертикальными скоростями в различных воздушных массах на поверхности раздела.
40. Анализ поля ветра и поля давления в области фронта.
41. Качественное описание возникновения гравитационных колебаний частицы воздуха в стратифицированной среде.
42. Качественное описание возникновения волновых движений в поле силы Кориолиса и барического градиента.
43. Основные параметры волн. Связь между ними.
44. Вывод уравнений движения и уравнения неразрывности для малых волновых возмущений.
45. Преобразования уравнения притока тепла для малых волновых отклонений.
46. Преобразование системы для волновых возмущений с использованием функции тока и потенциала скорости. Анализ факторов определяющих существование различных волн.
47. Принцип вывода дисперсионного уравнения (для высокочастотных волн).
48. Звуковые волны. Фильтрация звуковых волн.
49. Гравитационные волны. Частоты гравитационных волн.
50. Инерционные планетарные волны Россби. Их частота и фазовая скорость.
51. Средний глобальный перенос воздушных масс.
52. Пограничные слои в океане и в атмосфере. Постановка задачи Экмана для распределения скорости ветрового дрейфового течения в верхнем слое океана.
53. Интегрирование уравнений задачи Экмана. Спираль Экмана.
54. Распределение ветра с высотой в пограничном слое атмосферы.
55. Волны Кельвина.
56. Топографические волны.
57. Течение Свердрупса.
58. Особенности динамики океанических течений у западных берегов.
59. Особенности динамики потоков в экваториальной зоне.
60. Неустойчивость гравитационных волн в среде с вертикальным сдвигом скорости.
61. Влияние меридионального сдвига скорости на устойчивость планетарных волн в зональном потоке.
62. Условия бароклинной неустойчивости. Простейшие критерии бароклинной неустойчивости.

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Распределение баллов по видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Посещение лекционных занятий	10
Расчетно-графическая работа «Дифференциальные операторы»	20
Расчетно-графическая работа «Термодинамика и статика»	20
Расчетно-графическая работа «Геострофический ветер и адвекция»	20
Промежуточная аттестация	30
ИТОГО	0-100

Балльная шкала итоговой оценки на экзамене

Оценка	Баллы
--------	-------

Отлично	85-100
Хорошо	65-84
Удовлетворительно	40-64
Неудовлетворительно	0-39

7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в Методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины «Геофизическая гидродинамика».

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература

1. Динамическая метеорология. Под ред. Лайхмана Д.Л.–Л.: Гидрометеиздат, 1976. –608с.

2. Задачник по динамической метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 166с.

Дополнительная литература

1. Подольская Э.Л. Механика жидкости и газа. Раздел «Геофизическая гидродинамика». Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.- 154с.

2. ...Радикевич В.М. Динамическая метеорология для океанологов. Учебное пособие. – Л.: изд. ЛПИ, 1985. – 157с.

3. Задачник по динамической метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 166с.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

1. <http://ecmwf.int> сайт европейского центра среднесрочных прогнозов погоды

2. <https://www.ncdc.noaa.gov> сайт национального управления океанических и атмосферных исследований (США)

3. <https://www.wcrp-climate.org> сайт международной программы изучения изменения климата

8.3. Перечень программного обеспечения (

1. ...GrADS — свободно распространяемое программное обеспечение

8.4. Перечень информационных справочных систем (

1. <http://elib.rshu.ru> Электронно-библиотечная система ГидроМетеоОнлайн.

2. <http://znanium.com> Электронно-библиотечная система Знаниум.

3. ...

8.5. Перечень профессиональных баз данных

1. Электронно-библиотечная система elibrary;

2. База данных издательства SpringerNature;

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. **Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа** – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).
2. **Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации
3. **Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
4. **Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации** - укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.
5. **Помещение для самостоятельной работы** – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.
- 6.

10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий