



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)
Географический факультет



УТВЕРЖДАЮ
Декан географического факультета
Вологжина С.Ж.
«06» _____ 2019 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Индекс дисциплины по УП: ФТД.2

Наименование дисциплины (модуля): Атмосферная гидродинамика

Направление подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре: 05.06.01 Науки о Земле

Направленность программы подготовки кадров высшей квалификации (программы аспирантуры):
Метеорология, климатология, агрометеорология (географические науки)

Форма обучения: очная, заочная

Согласовано с УМК географического факультета
протокол № 4 от «06» 05 2019 г.
Председатель УМК В.Ж. / Вологжина С.Ж.

Программа рассмотрена на заседании кафедры
метеорологии и охраны атмосферы
Протокол № 6, от «22» апреля 2019 г.
и.о. зав. кафедрой Л.В. Латышева И.В.

Иркутск 2019 г.

Содержание

	Стр.
1. Цели и задачи дисциплины	3
2. Место дисциплины в структуре ОПОП	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	4
5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами	6
5.3 Разделы и темы дисциплины и виды занятий	6
6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	7
6.1 Тематика заданий для самостоятельной работы	8
6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	10
7. Примерная тематика рефератов (по согласованию с научным руководителем)	10
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:	10
а) основная литература	10
б) дополнительная литература	11
в) программное обеспечение	11
г) профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	11
д) информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	11
е) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимые для освоения дисциплины	11
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	12
10. Образовательные технологии	12
11. Оценочные средства (ОС)	12

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью факультатива «Атмосферная гидродинамика» является получение аспирантом знаний по фундаментальным основам физических и динамических процессов в разных слоях земной атмосферы и атмосферах других планет.

Задачи дисциплины «Атмосферная гидродинамика». Дать аспирантам знания об основных законах сохранения в сплошных средах и их применения к гидродинамическим задачам, ознакомить с основами физического и динамического описания движений газа в атмосферах Земли и планетах Солнечной системы, а также дать физические представления о движениях пылегазовых веществ в космических объектах, основанных на законах сохранения. Подготовить аспирантов к использованию знаний в процессах дальнейшего обучения и самостоятельному написанию научных работ.

2. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП:

Дисциплина «Атмосферная гидродинамика» относится к факультативным дисциплинам основной профессиональной образовательной программы по направленности (профилю) подготовки «Метеорология, климатология, агрометеорология» направления подготовки 05.06.01 Науки о Земле.

Изучение дисциплины «Атмосферная гидродинамика» необходимо для усвоения знаний по следующим дисциплинам: методы статистической обработки и анализа и метеорологических, геофизических и астрономических данных наблюдений, теории строения Солнца, радиофизическим методам исследований Земли и космического пространства, численным методам анализа и прогноза погоды; моделирования в физических задачах солнечно-земных связей.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих профессиональных компетенций:

(ОПК-1) Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий;

Выпускник, освоивший программу аспирантуры, должен обладать следующими профессиональными компетенциями (ПК):

(ПК-2) умение анализировать, обобщать и систематизировать с применением современных компьютерных технологий результаты научно-исследовательских работ, имеющих гидрометеорологическую направленность;

(ПК-3) глубоким пониманием и творческим использованием в научной деятельности знания фундаментальных и прикладных разделов специальных дисциплин.

В процессе изучения дисциплины «Атмосферная гидродинамика» аспирант должен приобрести знания и умения, необходимые для его дальнейшего профессионального становления, а именно:

Знать: теоретические основы гидротермодинамики сплошных сред, современные представления о строении и взаимодействии различных областей атмосферы, атмосферы и океана, атмосферы и околоземного космического пространства, солнечного излучения и атмосферы; современные методы исследования атмосферы и её поведения в различном геофизическом окружении; основные теоретические представления о строении атмосферы, её динамике, физико-химических процессах в атмосфере; основные источники (модельные и экспериментальные) геофизической информации о характеристиках атмосферы и их динамике.

Уметь: объяснить физическую основу уравнений движения с точки зрения сил и систем координат; применять масштабный анализ для выявления динамических процессов в сбалансированных средах; описывать характеристики сбалансированных потоков; использовать уравнения движения для объяснения квазигеострофии, агеострофии и структуры и распространения волн в однородных и неоднородных средах, применить современные представления о строении и

взаимодействии различных областей атмосферы для качественного анализа геофизических явлений, связанных с Солнцем, атмосферой, океаном и околоземным космическим пространством, определить метод исследования, необходимый для качественного анализа поведения атмосферы в конкретном геофизическом аспекте, количественно оценить влияние того или иного процесса на общую картину поведения атмосферы, проводить статистический анализ результатов исследования атмосферы, выполнить физико-статистическую интерпретацию полученных результатов.

Владеть: базовой терминологией для описания характеристик атмосферы и их динамики; базовыми навыками применения различных методов исследования атмосферы; базовыми навыками получения количественных оценок влияния различных физико-химических процессов на поведение атмосферы; базовыми навыками гидродинамического анализа геофизических явлений, статистическим, корреляционным и спектральным анализом данных, основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером, как средством управления информацией.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц (очная/заочная)	Курс			
		2			
Аудиторные занятия (всего)	24/16	24/16			
В том числе:					
Лекции	12/10	12/10			
Практические занятия (ПЗ)	12/6	12/6			
Самостоятельная работа (всего)	48/56	48/56			
Вид промежуточной аттестации	зачет	зачет			
Контактная работа (всего)	24/16	24/16			
Общая трудоемкость					
часы	72/72	72/72			
зачетные единицы	2/2	2/2			

5. Содержание дисциплины

5.1 Содержание разделов и тем дисциплины.

1. *Введение.* Предмет и методы дисциплины «Атмосферная гидродинамика».

2. Связь «Атмосферная гидродинамика» с другими учебными дисциплинами. Атмосфера Земли и ее строение с точки зрения гидротермодинамики. Гидродинамическая расслоенность атмосферы. Гидродинамические параметры воздуха, погрешности их определения. Классификация воздушных движений. Порядок гидродинамических величин и их производных, масштабы переменных.

3. *Некоторые сведения из векторного исчисления.* Основные операции с векторами. Операторы, используемые в гидродинамике: градиент, дивергенция, завихренность, операторы Эйлера, Лапласа и др.

4. *Некоторые сведения из кинематики жидкости и газа.* Представление вектора скорости в виде отдельных составляющих: трансляции, дивергенции, завихренности, деформации сдвига и

растяжения. Соленоидальные и безвихревые потоки, определения функции тока и потенциала, солитоны.

5. *Основные уравнения гидротермодинамики атмосферы.* Координаты, используемые в гидродинамике: инерциальные и вращающиеся системы координат. Уравнения движения в инерциальной системе координат в форме Лагранжа и в форме Эйлера. Силы, определяющие ускорение частицы в инерциальной системе координат: сила градиента давления, сила тяжести и сила трения. Уравнение сохранения массы и баланса атмосферных примесей. Уравнения Навье - Стокса. Уравнения движения на вращающемся шаре в векторной форме. Сила Кориолиса и центробежная сила. Уравнения движения в локальной декартовой системе координат. Уравнение состояния, уравнения притока тепла и влаги.

6. *Идеальная жидкость.* Уравнение непрерывности, Уравнение Эйлера, уравнение Бернулли. Завихренность, сохранение циркуляции, уравнения Кирхгофа. Потенциальные течения, комплексный потенциал. Вязкая жидкость. Тензор энергии-импульса и уравнение движения вязкой жидкости. Течение при малых числах Рейнольдса, формула Стокса. Вязкие течения Хеле-Шоу и проблема лапласовского роста.

7. *Турбулентность.* Основы описания атмосферных турбулентных течений. Уравнения гидротермодинамики для турбулентной среды. Турбулентный характер движений и его математическое описание. Неустойчивость течений и возбуждение турбулентности. Статистическое описание турбулентных течений. Закон Колмогорова, гипотеза Колмогорова. Диссипативная аномалия. Перемежаемость. Мультифрактальность, как обобщение скейлинга Колмогорова.

8. *Некоторые понятия из теории случайных функций.* Осреднение уравнений движения, притоков тепла и влаги и баланса примеси. Понятия проблемы замыкания системы уравнений гидротермодинамики. Упрощенные уравнения гидротермодинамики для крупномасштабных движений. Уравнения гидротермодинамики в изобарической и других системе координат.

9. *Крупномасштабные атмосферные течения без учета силы трения.* Масштабный анализ и упрощения уравнений гидротермодинамики. Отдельные виды стационарных течений: геострофический ветер, Уравнения мелкой воды. Изменение скорости и направления геострофического ветра с высотой, термический ветер.

10. *Уравнения гидротермодинамики в различных системах координат.* Уравнения гидротермодинамики в криволинейных координатах. Операторы градиента, дивергенции, вихря и Лапласа в цилиндрических и сферических координатах. Уравнения гидротермодинамики в цилиндрических координатах. Градиентный ветер. Уравнения гидротермодинамики в сферических координатах. Геострофический ветер в сферической системе координат. Уравнения движения на бета - плоскости, бета - эффект. Уравнения гидротермодинамики в изобарической и изэнтропической системах координат. Граничные условия на верхней и нижней границах слоя жидкости или газа при использовании в качестве координаты высоты, давления и потенциальной температуры. Гибридные системы координат. Уравнение вихря, уравнение потенциального вихря, уравнение спиральности, уравнение дивергенции скорости, уравнение энергии, уравнение тенденции. Определение вертикальной скорости на основе уравнений неразрывности и вихря скорости.

11. *Лучистая энергия.* Основные понятия и законы излучения. Уравнение переноса лучистой энергии. Модели радиационного равновесия. Парниковый эффект. Эффекты конвекции. Количество энергии, получаемое планетами Солнечной системы. Методы расчета потоков радиации и радиационных притоков тепла в прозрачных и рассеивающих средах. Постановка задачи об определении параметров атмосфер планет по радиационным измерениям со спутников.

12. *Пограничные слои.* Гидродинамическое определение пограничных слоев и их толщины. Планетарный пограничный слой атмосферы и внутренний (приземный) подслой. Вертикальные профили гидродинамических величин в пограничных слоях. Основы нелинейной теории пограничного слоя.

13. *Поверхности раздела и фронты в неоднородных средах.* Основные свойства поверхности раздела воздушных масс. Скорость фронта. Движения вблизи поверхности раздела.

14. *Волновые движения в однородных, неоднородных и сжимаемых средах.* Параметры и типы волновых движений. Крупномасштабные стационарные и нестационарные волны. Внешние гравитационные и смешанные волны. Внутренние акустические и гравитационные волны. Воздействие волн на средний поток. Неустойчивость течения в бароклинной среде. Замкнутые вихри, солитоны, модоны. Волны на поверхностях раздела. Метод малых возмущений и его применение к анализу волновых процессов.

15. *Кинетическая энергия турбулентности в разных слоях атмосферы. Турбулентная диффузия и перенос примесей в атмосфере.* Постановка задачи о расчете распределения примесей. Статистические методы расчета распределения примесей. Распределение примесей от точечных источников в бесконечном пространстве. Распределение примесей в пограничном слое атмосферы в реальных условиях.

5.2 Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

Изучение дисциплины «Физика верхней и средней атмосферы» базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин бакалавриата Б1.В.ОД.2 «Геофизическая гидродинамика», Б1.В.ОД.6 «Динамическая метеорология» и магистратуры Б1.В.ОД.3 «Теория климата», Б1.В.ДВ.4.1. «Теория общей циркуляции атмосферы».

5.3 Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№	Раздел	Всего часов (очно/заочно)	Аудиторные занятия (очно/заочно)		СРС (очно/заочно)
			Лекции	Практические занятия	
3	Сведения из векторного исчисления.	4/4		2/1	3/5
4	Сведения из кинематики жидкости и газа	6/6		2/1	4/5
5	Основные уравнения гидротермодинамики атмосферы	9/11	2/2		7/9
6	Идеальная жидкость	1/1			1/1
7	Турбулентность.	6/5	2/1		4/4
8	Некоторые понятия из теории случайных функций	5/5		2/1	3/4
9	Крупномасштабные атмосферные течения без учета силы трения	5/6	2/2		3/4
10	Уравнения гидротермодинамики в различных системах координат	6/7	2/1		4/6
11	Лучистая энергия	3/2			3/2
12	Пограничные слои	5/4		2/1	3/3
13	Поверхности раздела и фронты в неоднородных средах	4/4			4/4
14	Волновые движения в однородных, неоднородных и сжимаемых средах	10/9	2/2	2/1	6/6
15	Кинетическая энергия турбулентности в разных слоях атмосферы. Турбулентная диффузия и перенос примесей в атмосфере.	8/7	2/2	2/1	4/4
Итого (часы/з.е.)		72/2 / 72/2	12/10	12/6	48/56

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
3	Сведения из векторного исчисления.	Основные операции с векторами.	2/1		
4	Сведения из кинематики жидкости	Понятие сплошной среды текучей среды. Идеальная жидкость, идеальный газ. Модели движений сплошной среды.	2/1	Оценка в баллах	ОПК-1 ПК-2 ПК-3
8	Некоторые понятия из теории случайных функций	Понятия проблемы замыкания системы уравнений гидротермодинамики. Упрощенные уравнения гидротермодинамики для крупномасштабных движений	2/1	Оценка в баллах	ОПК-1 ПК-2 ПК-3
12	Пограничные слои в атмосфере	Понятие и основные принципы формирования пограничных слоев. Силы, действующие в пограничных слоях. Планетарный пограничный слой. Потоки массы и тепла в планетарном пограничном слое.	2/1	Оценка в баллах	ОПК-1 ПК-2 ПК-3
14	Волновые движения в однородных, неоднородных и сжимаемых средах		2/1	Оценка в баллах	ОПК-1 ПК-2 ПК-3
15	Турбулентная диффузия и перенос примесей в неоднородных средах	Понятие о примеси. Распространение примеси в турбулентном пограничном слое и постановка задачи о распространении примеси	2/1	Оценка в баллах	ОПК-1 ПК-2 ПК-3

6.1. Тематика самостоятельной работы аспирантов

№ темы.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
3	Сведения из векторного исчисления	Конспектирование	Действия с векторами	Основная [1,2]	3/5
4	Сведения из кинематики жидкости	Реферирование литературы	Составить сообщение на 2-3 страницы.	Основная [1,2]	4/5
5	Основные уравнения гидротермодинамики	Выполнить численный расчет	Рассчитать силы, действующие в атмосфере на экваторе и на полюсах. Определить численные значения этих сил.	Основная [1,2]	1/2
5	Основные уравнения гидротермодинамики Сила тяжести	Выполнить численный расчет	Вывести формулу и рассчитать разность сил тяжести на экваторе и на полюсах Земли.	Основная [1,2]	1/2
5	Основные уравнения гидротермодинамики Сила барического градиента	Выполнить численные расчеты	Вывести формулы для расчетов силы барического градиента, действующие в циклонах и антициклонах.	Основная [1,2]	1/1
5	Основные уравнения гидротермодинамики Сила Кориолиса	Выполнение заданий поисково-исследовательского характера	Описать механизм возникновения силы Кориолиса и ее действие на атмосферные течения. Вывести формулы расчета силы Кориолиса	Основная [1,2] Дополнительная [4,5]	2/2
5	Основные уравнения гидротермодинамики Сила трения	Выполнение заданий поисково-исследовательского характера	Освоить вывод формул для расчета сил молекулярного и турбулентного трения	Основная [1,4] Дополнительная [4,5]	2/2
6	Идеальная жидкость.	Выполнение заданий поисково-исследовательского характера	Вывод уравнений движения Навье-Стокса применительно к атмосферным течениям	Основная [1-3] Дополнительная [4-19]	1/1
7	Турбулентность	Составить конспект. «Пульсационные и осредненные характеристики турбулентных течений».	Дать статистическое описание турбулентных течений	Основная [1-4] Дополнительная [4-11]	4/4
8	Некоторые понятия из теории случайных функций	Реферат	Упрощенные уравнения гидротермодинамики для крупномасштабных движений. Уравнения гидротермодинамики в изобарической и других системе координат.	Основная [1-3] Дополнительная [4-19]	3/4

9	Крупномасштабные движения в свободной атмосфере. Механизм возникновения силы барического градиента на примере Земной атмосферы	Описать физическую картину возникновения атмосферного давления	Вывести формулы для расчета давления в атмосфере и силы барического градиента	Основная [1] Дополнительная [4-19]	3/4
10	Уравнения гидротермодинамики в различных системах координат	Решение задач	Уравнения гидротермодинамики в криволинейных координатах	Основная [1] Дополнительная [4-19]	4/6
11	Лучистая энергия	Изучить уравнение переноса лучистой энергии. Модели радиационного равновесия. Парниковый эффект. Эффекты конвекции.	Рассчитать потоки радиации и радиационные притоки тепла в безоблачной атмосфере и при наличии облачности.	Основная [3] Дополнительная [4-19]	3/2
12	Пограничные слои	Определение пограничных слоев и их толщины. Влияние бароклинности на ППС	Записать геострофический ветер в сферической системе координат. Записать уравнения движения на бета-плоскости, бета-эффект.	Основная [1-4] Дополнительная [4-19]	3/3
13	Поверхности раздела и фронты в неоднородных средах	Дать определение поверхности раздела на примере воздушных масс в атмосфере	Освоить метод расчета скорости фронта в Земной атмосфере	Дополнительная [5-19]	4/4
14	Волновые движения в однородных, неоднородных и сжимаемых средах	Изучить виды энергии. Изменения энергии единичной массы.	Составить уравнение баланса энергии замкнутого объема, баланса энергии атмосферы Земного шара и Северного полушария. Показать диаграмму Лоренца. Вывести формулу энергия волн	Основная [1-3] Дополнительная [5-19]	6/6
15	Кинетическая энергия турбулентности в разных слоях атмосферы. Турбулентная диффузия и перенос примесей в атмосфере.	Показать физический смысл процессов турбулентной диффузии и переноса примесей в атмосфере.	Понять исходные положения при постановке задачи о расчете распределения примесей. Описать статистические методы расчета распределения примесей; в том числе распределение примесей от точечных источников в бесконечном пространстве и распределение примесей в пограничном слое ат-	Основная [1-3] Дополнительная [4-19]	4/4

			мосферы в реальных условиях		
--	--	--	--------------------------------	--	--

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы аспирантов

Решение задач последовательно по темам всего курса «Атмосферная гидродинамика». Написание рефератов, составление в письменном виде докладов по выбранной самостоятельно или по согласованной с руководителем теме. Устная форма доклада по выбранной теме настоящей программы на семинаре или коллоквиуме.

Для выполнения всех перечисленных самостоятельных работ аспиранту предоставляется возможность использования одного из трех компьютерных классов во внеучебное время (предварительная запись у дежурных в классе, все компьютеры подключены к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду университета), фондов стационарной библиотеки в 6-м корпусе и фундаментальной библиотеки ИГУ, читальных залов Институтов академии наук (согласно заключенным с ними Договорами), фондов библиотеки Иркутского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, индивидуальных консультаций с преподавателями факультета (согласно графику еженедельных консультаций).

7. Примерная тематика рефератов (по согласованию с научным руководителем)

1. Изменения силы Кориолиса как индикатор интенсивности течений на вращающихся телах.
2. Исследование вихревой активности, как фактора изменений динамических свойств атмосферы.
3. Оценка кинетической энергии турбулентности в воздушных потоках и возможные механизмы ее генерации.
4. Термодинамические особенности формирования атмосферы Земли и атмосферы на других планетах солнечной системы (Марс, Венера и др.).
5. Моделирование и расчет характеристик течений в атмосфере Марса по данным прямых измерений автоматических станций.
6. Спектральные способы исследования и моделирования турбулентных процессов в земной атмосфере.
7. Молекулярная и турбулентная вязкость воздуха в атмосфере. Турбулентные напряжения и скорости деформации воздушных частиц.
8. Планетарный пограничный слой. Потоки количества движения и тепла в планетарном пограничном слое.
9. Уравнения движения газа без учета вязкости.
10. Изменение давления воздуха с высотой и действие силы барического градиента в поле силы гравитации.
11. Волны Россби и образование атмосферных вихрей.
12. Перенос вихря в атмосфере.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. «Теоретическая физика» т.VI, «Гидродинамика», М., Наука, 1986.
2. Лэмб Г., «Гидродинамика», М., Гостехиздат, 1947.
3. Фалькович, Г., «Современная гидродинамика: краткий курс», Регулярная и хаотическая динамика, 2014.

б) дополнительная литература:

4. Шефов, Николай Николаевич Излучение верхней атмосферы - индикатор ее структуры и динамики. 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.: избр. тр. / А. М. Обухов ; предисл. Г. С. Голицын ; коммент. А. М. Яглом. - Л. : Гидрометеиздат, 1988. - 413 с. (5 экз.).

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

8. Кибель И. А. Избранные работы по динамической метеорологии. 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 А. И. Векторный анализ и начала тензорного исчисления. Учебник. / Борисенко Александр Иванович, Тарапов Иван Евгеньевич. Издат. Высшая школа. М. 1966. 248 с. (5 экз.).

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

11. Белов И.А., Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений. Учеб. пособие. – СПб.: Балт. гос. техн. ун-т, 2001. –108 с.

12. Ж. Ван Мигем. Энергетика атмосферы. Л. Гидрометеиздат, 1977. — 326 с.

13. Frisch U. Turbulence: The Legacy of A.N. Kolmogorov, Cambridge University Press. Cambridge, UK, 1995.

14. Holton J. R. An introduction to dynamic meteorology /. - 2nd. ed. - New York : Acad. press, 1979. - 391 p. : ill. - (Intern. geophysical ser. ; vol.23). - Bibliogr.: p.379-382. - Б. ц.

15. Акасофу С. И., Чепмен С. Солнечно-земная физика : ч.1 / ; Пер. с англ. под ред. Г.М. Никольского. - М. : Мир, 1974. - 384 с. : ил. - Парал. тит. л. на англ. яз. - Библиогр.: с.368-382. - Пер. изд. :Solar-terrestrialphysics / S. Akasofu, S. Chapman. -

16. Акасофу С. И., Чепмен С. Солнечно-земная физика : ч.2 /; Пер. с англ. под ред. Г.М. Никольского. - М. : Мир, 1975. - 512 с. : ил. - Доп. тит. л. на англ. яз. - Библиогр.: с. 481-509. - Пер. изд.: Solar-terrestrialphysics / S. Akasofu, S. Chapman.

17. Хинце И.О. Турбулентность. Её механизм и теория. М. Госиздат. ф-мат лит-ры, 1963. — 680 с.

18. Изаков М. Н. Турбулентность в свободной атмосфере Земли, Марса и Венеры (Обзор) *Астрономический Вестник*. 2007, том 41, № 5, с. 387-416

19. Зилитинкевич С.С. Атмосферная турбулентность и планетарные пограничные слои. 2016. 247 стр.

в) программное обеспечение

Microsoft Imagine Premium - Сублицензионный договор № 03-015-16 от 21.11.2016 г.

STADIA – Лицензионный паспорт № 1442 от 21.03.2008 г.

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Edition – Лицензия № 1B08161103014721370444 от 03.11.2016 г. – 27 экз.

Программное обеспечение: геоинформационные системы ГИС «Метео»

Электронный ключ № 105 от 13.02.2008 г.

г) информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- Научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования <https://elibrary.ru>
- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

д) ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимые для освоения дисциплины:

- Международная система индексирования публикаций Web of Science
<http://webofknowledge.com>
- Научные ресурсы зарубежного издательства Elsevier B.V. – Freedom Collection
(<https://www.elsevier.com>)

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):

Наблюдательные базы Института солнечно-земной физики СО РАН: Байкальская астрофизическая обсерватория, Саянская солнечная обсерватории и др.

Освоение дисциплины «Атмосферная гидродинамика» предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети ИГУ и находятся в едином домене.

Библиотечный фонд ИГУ, ИСЗФ СО РАН.

10. Образовательные технологии:

- Семинарские занятия;
- Лекции;
- Учебные конференции с чтением самостоятельно подготовленных докладов;
- Широкое использование в учебном процессе компьютерных симуляций атмосферных течений в абстрактной математической форме,
- Деловые игры, направленные на углубленное понимание физики атмосферных процессов и явлений,
- Разбор конкретных ситуаций природных атмосферных явлений,
- Практические занятия по освоению наблюдательных архивных и справочных данных
- Предусмотрены встречи со специалистами Российской Академии наук.

В рамках учебного курса «Атмосферная гидродинамика» приветствуется участие аспирантов на договорной основе в разных профильных лабораториях институтов РАН г. Иркутска, в частности в Институте солнечно-земной физики СО РАН, Лимнологическом институте СО РАН, Институте географии СО РАН и др. Проведение лекционных занятий сопровождается мультимедийными презентациями.

На лекции обсуждаются ключевые понятия и технические выкладки разбираемой темы, даются необходимые определения, разбираются поучительные примеры. Аспирантам на дом даются задачи для самостоятельного разбора, содержащие как упражнения для усвоения пройденного материала, так и нестандартные задачи, позволяющие проверить уровень общего понимания предмета и требующие изучения дополнительного материала. Некоторые задачи предваряют (продолжают) тематику лекций. Аспирант сдает задачи, как в виде письменных домашних работ, так и в виде устной беседы с преподавателем.

11. Оценочные средства (ОС):

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

Оценочные средства для входного контроля - не предусмотрены

Оценочные средства текущего контроля – контроль выполнения практических работ

Оценочные средства для промежуточной аттестации - в соответствии с учебным планом: 2 курс – зачёт.

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. Вывод уравнений гидротермодинамики мезомасштабных течений. Определение местных ветров, явление свободной и вынужденной конвекции.
13. Термический ветер и термическая адвекция (вывод уравнений)
14. Общие уравнения гидротермодинамики атмосферы
15. Основные положения теории ОЦА и климата. Общая циркуляция атмосфер планет Солнечной системы.
16. Энергетика атмосферы. Кинетическая энергия атмосферных течений. Турбулентная энергия воздушных потоков
17. Турбулентная диффузия и перенос примесей в атмосфере

Вопросы для семинара

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 текущего контроля

Примерный список задач по теме “Идеальная жидкость”.

1. Написать уравнения одномерного течения идеальной жидкости в переменных Лагранжа.
2. Выписать тензор плотности потока импульса идеальной жидкости.
3. Вывести уравнение движения несжимаемой идеальной жидкости.
4. Определить форму поверхности несжимаемой жидкости в поле тяжести в цилиндрическом сосуде, вращающемся вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью.
5. Определить потенциальное течение несжимаемой идеальной жидкости вокруг шара, движущегося с постоянной скоростью. То же для бесконечного цилиндра, движущегося перпендикулярно к своей оси.

Примерный перечень вопросов и заданий к зачету

«Атмосферная гидродинамика»:

1. Поля гидродинамических элементов и их характеристики.
2. Линии тока и траектории частиц газа. Поток вектора скорости через поверхность.
3. Дивергенция вектора скорости ветра, циркуляция вектора скорости. Вихрь скорости.
4. Изменение гидродинамических 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.
16. 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. Уравнение притока тепла. Мощность конвекции
25. Ослабление Лучистой энергии в атмосфере. Закон Бугера-Ламберта
26. Уравнения переноса длинноволновой радиации и их интегрирование.
27. Упрощенные уравнения для крупномасштабных движений атмосферы: геострофический и градиентный ветры, потоки Куэтта и Пуазейля.
28. Термическая адвекция, поворот ветра с высотой в свободной атмосфере
29. Агеострофический ветер. Определение вертикальной скорости на основе уравнений неразрывности и вихря скорости.
30. Пограничные слои в атмосфере. Изменение ветра с высотой в планетарном пограничном слое.
31. Профили метеорологических величин в приземном слое.
32. Принципы записи уравнений гидротермодинамики в разных системах координат. Инерционные волны в баротропной атмосфере (волны Россби).
33. Инерционные волны (волны Россби) на сфере.
34. Баротропная сдвиговая неустойчивость,
35. Внешние гравитационные волны.
36. Гравитационно-инерционные волны в геострофическом потоке.
37. Волны Пуанкаре и Кельвина.
38. Акустические волны.
39. Внутренние гравитационные волны.

40. Адаптация полей ветра и давления,
41. Виды энергий. Баланс различных видов энергии.
42. Уравнение энергии, переходы одних видов энергии в другие.
43. Атмосферные фронты: фронтогенез и фронтолиз.
44. Распространение примеси в турбулентном пограничном слое атмосферы и постановка задачи о распространении примеси.
45. Понятие о пространственном спектре неоднородностей метеовеличин.
46. Условия и механизм формирования суточных колебаний метеовеличин.
47. Вывести уравнение Бернулли.
48. Закон сохранения циркуляции и уравнения Кирхгофа.
49. Потенциальные течения. Комплексный потенциал.
50. Волны во вращающейся жидкости, гравитационные волны.
51. Тензор энергии-импульса вязкой жидкости.
52. Уравнение Навье-Стокса.
53. Простейшие течения вязкой жидкости.
54. Течение при малых числах Рейнольдса.
55. Вязкие течения Хеле-Шоу и проблема лапласовского роста.
56. Ударные волны. Инварианты Римана.
57. Движение одномерного сжимаемого газа, преобразование годографа.
58. Статистическое описание турбулентных течений.
59. Закон Колмогорова. Диссипативная аномалия.
60. Мультифрактальность, как обобщение скейлинга Колмогорова

11. Оценочные средства (ОС):

Оценочные средства текущего контроля – собеседование, контроль выполнения практических работ. Собеседование с каждым аспирантом по выполненной работе с целью выяснения самостоятельности и качества усвоения материала. Консультации по отдельным вопросам.

Оценочные средства для самоконтроля обучающихся – собеседования, консультации. Проверка выполнения самостоятельной работы осуществляется согласно графику контроля.

Программа оценивания контролируемой компетенции:

Тема или раздел дисциплины ¹	Формируемый признак компетенции	Показатель	Критерий оценивания	Наименование ОС ²	
				ТК ³	ПА ⁴
Разделы 1-8	ОПК-1 ПК-2 ПК-3	Знать: на современном уровне строение атмосферы, и формирование атмосферных течений под действием сил. Понимать физику взаимодействия различных слоев атмосферы, перенос и обмен свойствами воздушных течений. Уметь: применить современные представления о	Знание современных механизмов, строения и взаимодействия атмосферных течений Умение применить знания к анализу атмосферных явлений. Владение базовой терминологией и современными моделями для описания характеристик	Собеседование, контроль выполнения практических работ.	зачет

		строении и взаимодействии различных областей атмосферы для количественного и качественного анализа гидродинамических явлений. Владеть: базовой терминологией для описания характеристик атмосферы и их динамики.	атмосферы и их динамики.		
Раздел 9-15.	ОПК-1 ПК-2 ПК-3	Знать: достоинства и недостатки современных представлений о динамических характеристика атмосферных течений различных масштабов и энергий. Уметь: применить известные фундаментальные законы к анализу атмосферных явлений. Владеть: базовой терминологией и современными методами для описания атмосферных течений различной природы и энергии	Знание современных методов исследования атмосферных течений и физических основ динамики движения. Умение подобрать метод исследования, необходимый для качественного анализа поведения атмосферы при различных факторах и внешних условиях. Владение базовыми моделями воздушных течений в разных слоях атмосферы	Собеседование, контроль выполнения практических работ.	зачет

Примечание:

УО – устный опрос (собеседование)

П – практическая работа (решение задач)

Оценочные средства для оценки текущей успеваемости аспирантов

Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел/Тема	Индекс и уровень	ОС	Содержание задания
-------------	------------------	----	--------------------

	формируемой компетенции или дескриптора		
Раздел 1-8	ОПК-1 ПК-2 ПК-3	УО, П	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, обсудить решение исследовательских задач.
Раздел 9-15	ОПК-1 ПК-2 ПК-3	УО, П	Составить и обсудить на занятии проблемные вопросы по изученному разделу, обсудить решение исследовательских задач.

Критерии оценки текущей успеваемости

применяется балльная система:

№ п/п	Вид учебной деятельности	Баллы	Максимум за семестр
1	Ведение конспекта лекции и работа с ним	1	1
2	Обсуждение проблемных вопросов	0-5	5
3	Решение задач	0-5	5
4	Премиальные баллы (посещение, активность, эрудированность, заинтересованность)	0-5	5

Практические занятия являются формой групповой аудиторной учебной работы под руководством преподавателя. Основной целью практических занятий по дисциплине является оценка умений применять теоретические знания аспирантов в процессе решения задач. В начале занятия преподаватель определяет тематику занятия, после чего аспиранты под руководством и при консультировании преподавателя выполняют индивидуальные или групповые задания.

Самостоятельная работа студента (СРС) в течение учебного года контролируется графиком работы по семестрам, предусматривающим:

- формулирование проблемных вопросов;
- подготовка доклада презентацией по выбранной теме;
- самостоятельное освоение отдельных тем дисциплины;
- еженедельные консультации согласно утвержденному графику;

СРС является важной составляющей учебного процесса, целью которой является более глубокое освоение аспирантами основных понятий, законов, методов, используемых в рамках изучаемой дисциплины.

СРС формирует способность аспирантов к самостоятельному познанию и обучению, поиску литературы, обобщению, оформлению и представлению полученных результатов, их критическому анализу, поиску новых и неординарных решений, аргументированному отстаиванию своих предложений, умений подготовки выступлений и ведения дискуссий.

СРС позволяет:

- сделать учебный процесс более насыщенным, продуктивным и разнообразным;
- способствует повышению интереса к избранной профессии;
- позволяет аспиранту самостоятельно искать решение профессиональных вопросов;
- формирует у аспиранта дифференцированный подход к обучению.

СРС заключается в изучении отдельных тем курса по заданию преподавателя по рекомендуемой им учебной литературе, в подготовке к семинарам, практическим работам, подготовке к зачету по дисциплине. Обсуждение доклада происходит в диалоговом режиме между аспирантами, аспирантами и преподавателем, но без его доминирования. Такая интерактивная технология обучения способствует развитию у аспирантов информационной коммуникативности, умений вести дискуссию, отстаивать свою позицию и аргументировать её, анализировать и синтезировать изучаемый материал, акцентировано представлять его аудитории.

ВИДЫ И ФОРМЫ СРС

Структурно самостоятельная работа аспиранта делится на две части:

- 1) организуемая преподавателем и четко описываемая в учебно-методическом комплексе (см. рабочую программу);
- 2) самостоятельная работа, которую аспирант организует по своему усмотрению, без непосредственного контроля со стороны преподавателя.

Формы СРС:

1. Конспектирование.
2. Реферирование литературы.
3. Аннотирование книг, статей.
4. Выполнение заданий поисково-исследовательского характера.
5. Работа с лекционным материалом: проработка конспекта лекций, работа на полях конспекта с терминами, дополнение конспекта материалами из рекомендованной литературы.
6. Выполнение численного расчета

Виды СРС:

- познавательная деятельность во время основных аудиторных занятий;
- внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов по выполнению домашних заданий учебного и творческого характера (в том числе с электронными ресурсами);
- самостоятельное овладение аспирантами конкретных учебных модулей, предложенных для самостоятельного изучения;
- учебно-исследовательская работа;
- научно-исследовательская работа.

СРС с электронными ресурсами:

В аудиториях для самостоятельных компьютерных занятий с помощью обучающих программ, аспиранты дополняют свои занятия, полученные на лекциях и практических занятиях, а также проверяют свой уровень подготовки и сдают зачет.

Формы контроля СРС:

- выборочная проверка во время аудиторных занятий;
- составление аннотаций на прочитанный материал;
- составление схем, таблиц по прочитанному материалу;
- обзор литературы;
- реферирование литературы;
- подготовка конспекта;
- включение вопросов на контрольных работах, на зачете.

Этапы СРС:

1. Подбор рекомендуемой литературы.
2. Знакомство с вопросами, по которым нужно законспектировать литературу.
3. Составление схем и таблиц на основе изученной литературы.

Комплекс средств обучения при СРС:

- учебно-методический комплекс;
- дидактический материал;
- электронный курс лекций, электронный учебник;
- видеоматериалы, CD, DVD.
- интернет-ресурсы.

ВИДЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СРС

Виды самостоятельной работы	Форма проверки преподавателем
1. Конспектирование	Выборочная проверка в течение семестра (см. график контроля за самостоятельной работой)
2. Подготовка докладов и презентаций	Подготовка докладов с анализом литературных источников и применением современных компьютерных технологий (см. учебно-методические рекомендации по дисциплине)
3. Углубленный анализ научно-методической литературы	Собеседование по проработанной литературе в течение семестра (см. график контроля за самостоятельной работой аспирантов)
4. Дополнение конспекта лекций рекомендованной литературой	Предложение составить свой план в заключение каждой лекции

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Иркутский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «ИГУ»)
Географический факультет

БИЛЕТ № 1 (пример)

Дисциплина Атмосферная гидродинамика
Направление подготовки 05.06.01 Науки о Земле

1. Силы, действующие в атмосфере. Уравнение баланса сил.
2. Термический ветер в свободной атмосфере Вывод уравнений.

Профессор _____ П.Г. Ковадло
 (подпись)

и.о. заведующий кафедрой _____ И.В. Латышева
 (подпись)

« ____ » _____ 2019 г.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если основной материал усвоен, аспирант приобрел необходимые знания и умения;
- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, аспирант не приобрел необходимых знаний и умений.
- оценка в баллах выставляется аспиранту, если основной материал усвоен, аспирант приобрел необходимые знания и умения показать их в полном объеме.

Оценочные средства, обеспечивающие диагностику сформированности компетенций, заявленных в рабочей программе дисциплины (модуля)

Результат диагностики сформированности компетенций	Показатели	Критерии	Соответствие/ несоответствие	Зачет
ОПК-1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Дал грамотный и развернутый ответ на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса. Выполнены все практические работы. Не ответил или ответил неправильно на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса. Практические работы не выполнены.	Соответствие Несоответствие	зачет
ПК-2	умение анализировать, обобщать и систематизировать с применением современных компьютерных технологий результаты научно-исследовательских работ, имеющих гидрометеорологическую направленность	Дал грамотный и развернутый ответ на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса. Выполнены все практические работы. Не ответил или ответил неправильно на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса. Практические работы не выполнены.	Соответствие Несоответствие	зачет
ПК-3	глубокое понимание и творческое использование в научной	Дал грамотный и развернутый ответ на вопросы для подготовки по теоретическим	Соответствие	зачет

	деятельности знания фундаментальн ых и прикладных разделов специальных дисциплин	вопросам курса. Выполнены все практические работы. Не ответил или ответил неправильно на вопросы для подготовки по теоретическим вопросам курса. Практические работы не выполнены.	Несоответствие	
--	---	---	----------------	--

Разработчик:


(подпись)

д.ф.-м.н., профессор
(занимаемая должность)

П.Г. Ковадло
(инициалы, фамилия)