

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт солнечно-земной физики
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:
Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН _____ А.В. Медведев
« 20 » апреля 2026 г.

Рабочая программа дисциплины

2.1.4 Геофизическая гидродинамика

Научная специальность 1.6.18. Науки об атмосфере и климате

Иркутск 2026

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал кандидат физико-математических наук	Васильев Р.В.
---	---------------

1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Геофизическая гидродинамика» входит в образовательный компонент основной профессиональной образовательной программы по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Дисциплина является обязательной для обучающихся в аспирантуре по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Знания и умения, приобретаемые аспирантами после изучения дисциплины, будут использоваться для решения научных задач на этапе моделирования физических процессов в атмосфере Земли и обработки данных наблюдений и направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена и к дальнейшей научной работе.

2. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Целью дисциплины «Геофизическая гидродинамика» является формирование у обучающихся представлений о гидродинамических, термодинамических процессах и явлениях определяющих динамику воздушных масс.

Задачами дисциплины «Геофизическая гидродинамика» являются:

- Формирование знаний об основных силах и физических законах управляющих динамикой атмосферы;
- Формирование представлений о геострофической динамике воздуха и геострофическом анализе полей ветра и давления;
- Формирование представлений о механизме развития и роли бароклинной неустойчивости в атмосфере Земли
- Формирование знаний о волновой динамике атмосферы;
- Формирование представлений о динамике воздуха в присутствии электрической плазмы (ионосферы) находящейся в геомагнитном поле и их взаимном влиянии.

3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

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

Знать: теоретические основы динамики атмосферы планеты (гравитирующей вращающейся сферы).

Уметь: выводить, интерпретировать и использовать примитивные уравнения сохранения параметров атмосферы (импульс, масса, энергия) для создания математических моделей динамики атмосферы: глобальная и локальная циркуляция, волновые процессы различных масштабов, движение в присутствии трения и орографии.

Владеть: математическим аппаратом моделирования атмосферной динамики, базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики, базовыми навыками визуализации и анализа полей термодинамических величин (ветер, температура, давление, концентрация и т.п.) при помощи персонального компьютера.

4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов /3 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
Аудиторные занятия (всего)	36/1
В том числе:	
Лекции	36/1
Семинары	

Самостоятельная работа (всего)	36/1
Вид промежуточной аттестации (экзамен)	36/1
Контактная работа (всего)	36/1
Общая трудоёмкость (часы/зачетные единицы)	108/3

5. Содержание дисциплины (модуля)

5.1. Содержание разделов и темы дисциплины (модуля)

1. Введение

Вертикальная стратификация атмосферы Земли, состав атмосферы, радиационно-тепловой баланс. Силы в атмосфере, фундаментальные и видимые силы на вращающейся планете. Законы сохранения импульса и массы для воздуха на вращающейся гравитирующей сфере. Уравнение термодинамической энергии. Термодинамика сухой и влажной атмосферы. Циркуляция и завихренность связь с моментом вращения.

2. Волны в атмосфере

Простые типы волн. Акустические волны, звук. Волны на мелководье. Волны тяжести (плавучести). Внутренние волны тяжести (плавучести). Чистые внутренние волны тяжести. Линейные волны вращающейся стратифицированной атмосферы. Чистые инерционные колебания. Инерциально-гравитационные волны. Подстройка геострофического баланса. Волны Россби. Свободные баротропные волны Россби. Вынужденные топографические волны Россби.

3. Квазигеострофический анализ

Наблюдаемая структура внетропической тропосферной циркуляции. Вывод квазигеострофических уравнений. Вывод потенциальной завихренности квазигеострофических уравнений. Использование потенциальной завихренности, инверсия и индуцированный поток. Сохранение потенциальной завихренности. Вертикальное движение. Идеализированная модель бароклинного возмущения. Изобарическая форма квазигеострофических уравнений.

4. Бароклиновая динамика

Гидродинамическая неустойчивость. Нормальный режим бароклиновой неустойчивости, двухслойная модель. Вертикальные движения в бароклиновых волнах. Энергетика бароклиновых волн. Доступная потенциальная энергия. Уравнение энергии в двухслойной модели. Бароклиновая неустойчивость в непрерывно стратифицированной атмосфере. Теорема Рэлея. Проблема устойчивости вихрей. Рост и распространение нейтральных мод. Переходной рост нейтральных волн, развитие по потоку.

5. Динамика термосферы

Тепловой баланс в термосфере. Процессы нагрева термосферы. Тепловой баланс и теплопроводность. Диссоциация и диффузное разделение. Экзосфера. Крупномасштабный ветер в термосфере. Гравитационные волны и приливы в термосфере.

5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия		СРС	Форма контроля
			Лекции	Практические занятия		
1	Введение	18	9		9	
2	Волны в атмосфере	18	9		9	
3	Квазигеострофический анализ	12	6		6	
4	Бароклиновая динамика	12	6		6	
5	Динамика термосферы	12	6		6	

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия		СРС	Форма контроля
			Лекции	Практические занятия		
6	Экзамен	36				36
Итого (часы)		108	36		36	36
Итого (з.е.)		3	1		1	1

5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Физика атмосферы и климат	Разделы 1 — 4
2	Исследовательская практика	Разделы 2, 3, 5
3	Физика ионосферы	Разделы 1, 2, 5

5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Введение	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	9	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
2.	Волны в атмосфере	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	9	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
3.	Квазигеострофический анализ	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	6	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
4.	Бароклинная динамика	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	6	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций
5.	Динамика термосферы	Интерактивная лекция, Групповые дискуссии, Анализ ситуаций и имитационных моделей	6	Беседа, обсуждение при анализе ситуаций

5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Данный вид занятий не предусмотрен.

5.6. Перечень и содержание самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Всего часов
1	Введение	Решение задач		Конспект лекций выложенных в ЭИОС, основная и дополнительная литература	9
2	Волны в атмосфере	Решение задач		Конспект лекций	9

				выложенных в ЭИОС, основная и дополнительная литература	
3	Квазигеострофический анализ	Решение задач		Конспект лекций выложенных в ЭИОС, основная и дополнительная литература	6
4	Бароклинная динамика	Решение задач		Конспект лекций выложенных в ЭИОС, основная и дополнительная литература	6
5	Динамика термосферы	Решение задач		Конспект лекций выложенных в ЭИОС, основная и дополнительная литература	6

Методические указания по организации самостоятельной работы

Решение задач проводить с помощью конспектов лекций расположенных в ЭИОС и примеров разобранных на лекционных занятиях.

Каждый вид самостоятельной работы направлен на закрепление и углубление знаний, полученных во время аудиторных занятий.

1) Работа с конспектами лекций

Аспирант повторяет содержание лекции, используя материалы конспекта, в случае необходимости дополняет их информацией из рекомендуемой и дополнительной литературы.

2) Работа с литературой

Аспирант осваивает материал, предназначенный для самостоятельного изучения, используя рекомендуемую и дополнительную литературу, составляет подробный конспект темы, анализирует, формулирует проблемные вопросы по теме

3) Решение задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Геофизическая гидродинамика в 2-х тт. [Электронный ресурс] : пер. с англ. / Дж. Педлоски. - М. : Мир, 1984. - 816 с. - Б. ц.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ.
2	Курс общей метеорологии. Физика атмосферы : учеб. пособие / Л. Т. Матвеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Гидрометеиздат, 2012. - 751 с. - Б. ц.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ.
3	Введение в физику ионосферы [] / Г. Ришбет, О. Гарриот. - Л. : Гидрометеиздат, 1975. - 305 с. - Б. ц.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ.

6.2. Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1	Аэрономия средней атмосферы. Химия и физика стратосферы и мезосферы [Текст] : пер. с англ. / Г.	ЭБ (http://irbis.iszf.irk.ru): неограниченный доступ.

	Брасье, С. Соломон. - Л. : Гидрометеиздат, 1987. - 414 с. - Б. ц.	
--	---	--

6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды <http://www.meteorf.gov.ru/product/info/>
- Приложение Ventusky <https://www.ventusky.com/>

6.4. Информационные, информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Электронная библиотека <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Электронная информационная образовательная среда <https://eios.iszf.irk.ru/>

6.5. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- Сервер видеоконференцсвязи Jitsi Meet

7. Образовательные технологии

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование аспирантами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- конспектирование;

При необходимости, в процессе работы над заданием, аспирант может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

9. Контроль качества освоения программы аспирантуры

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

Планируемые результаты освоения дисциплины

Знать теоретические основы атмосферной динамики, включая волновые явления различной природы и различных масштабов.

Уметь выводить, интерпретировать и использовать уравнения сохранения параметров атмосферы (импульс, масса, энергия, завихренность, волновые уравнения) для создания математических моделей динамики атмосферы.

Владеть математическим аппаратом моделирования атмосферной динамики и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости аспиранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как устный групповой опрос для повторения и закрепления главных тезисов тем, формулирования и обсуждения проблемных вопросов. После освоения материала раздела учащиеся готовят коллективное сообщение по освещению основных и проблемных вопросов.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

Объектами оценивания выступают:

- Учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- Степень усвоения теоретических знаний.

Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине

Раздел/ Тема	ОС	Содержание задания
Введение	Собеседование. Решение задач.	Ответить на вопросы по содержанию раздела «Введение» (вопросы 1-5). Решить задачи 1-21 (на выбор)
Волны в атмосфере	Собеседование. Решение задач.	Ответить на вопросы по содержанию раздела «Волны в атмосфере» (вопросы 6-11). Решить задачи 22-24 (на выбор)
Квазигеострофический анализ	Собеседование. Решение задач.	Ответить на вопросы по содержанию раздела «Квазигеострофический анализ» (вопросы 12-15). Решить задачу 25
Бароклинная динамика	Собеседование. Решение задач.	Ответить на вопросы по содержанию раздела «Бароклинная динамика» (вопросы 15-21). Решить задачи 6-8 (на выбор)
Динамика термосферы	Собеседование.	Ответить на вопросы по содержанию

	Решение задач.	раздела «Динамика термосферы» (вопросы 22-24). Решить задачи 9-12 (на выбор)
--	----------------	--

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине осуществляется по окончании дисциплины в виде **экзамена** в соответствии с графиком учебного процесса. Проверка наличия конспектов по дисциплине является допуском к экзамену. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1 (пример)

Дисциплина Гидродинамика и термодинамика атмосферы

1. Вопрос для проверки уровня обученности ЗНАТЬ
 - *Линейные волны вращающейся стратифицированной атмосферы. Чистые инерционные колебания.*
2. Вопрос для проверки уровня обученности УМЕТЬ
 - *Вычислить толщину слоя между уровнями давления 1000 гПа и 500 гПа для постоянной температуры 273 К и 250 К.*
3. Вопрос (задача/задание) для проверки уровня обученности ВЛАДЕТЬ
 - *Показать, что в атмосфере с постоянной потенциальной температурой (сухоадиабатический градиент) геопотенциальная высота определяется как: $Z(p) = H_\theta \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-R/c_p} \right]$ где p_0 давление при $Z = 0$, и $H_\theta = c_p \theta / g$ полная геопотенциальная высота атмосферы.*

Вопросы для экзамена (Знать)

1. Вертикальная стратификация атмосферы Земли, состав атмосферы, радиационно-тепловой баланс.
2. Силы в атмосфере, фундаментальные и видимые силы на вращающейся планете.
3. Законы сохранения импульса и массы для воздуха на вращающейся гравитирующей сфере.
4. Уравнение термодинамической энергии. Термодинамика сухой и влажной атмосферы.
5. Циркуляция и завихренность связь с моментом вращения.
6. Простые типы волн. Акустические волны, звук. Волны на мелководье.
7. Волны тяжести (плавучести). Внутренние волны тяжести (плавучести). Чистые внутренние волны тяжести.
8. Линейные волны вращающейся стратифицированной атмосферы. Чистые инерционные колебания.
9. Инерциально-гравитационные волны.
10. Подстройка геострофического баланса.
11. Волны Россби. Свободные баротропные волны Россби. Вынужденные топографические волны Россби.
12. Наблюдаемая структура внетропической тропосферной циркуляции.
13. Вывод квазигеострофических уравнений.
14. Вывод потенциальной завихренности квазигеострофических уравнений. Использование потенциальной завихренности, инверсия и индуцированный поток.

15. Сохранение потенциальной завихренности. Вертикальное движение.
16. Идеализированная модель бароклинного возмущения. Изобарическая форма квазигеострофических уравнений.
17. Гидродинамическая неустойчивость. Нормальный режим бароклинной неустойчивости, двухслойная модель.
18. Вертикальные движения в бароклинных волнах. Энергетика бароклинных волн.
19. Доступная потенциальная энергия. Уравнение энергии в двухслойной модели.
20. Бароклинная неустойчивость в непрерывно стратифицированной атмосфере. Теорема Рэлея. Проблема устойчивости вихрей.
21. Рост и распространение нейтральных мод. Переходной рост нейтральных волн, развитие по потоку.
22. Тепловой баланс в термосфере. Процессы нагрева термосферы. Тепловой баланс и теплопроводность.
23. Диссоциация и диффузное разделение. Экзосфера.
24. Крупномасштабный ветер в термосфере. Гравитационные волны и приливы в термосфере.

Задачи для экзамена (Уметь)

1. Вычислить силу действующую на тело массой m движущееся со скоростью $u(t) = u_0 + at$
2. Определить скорость тела массой m через время после начала действия на него силы $F = F_0 e^{at}$ для случая изначально покоящегося тела и для случая, когда тело имело начальную скорость u_0 .
3. Вычислить угол между векторами $A = 3i + 6j + 2k$ и $B = 5i + 2j + 1k$
4. Даны вектора $A = ai$, $B = bj$ и $C = ci + bj$ доказать, что $A \times C = A \times B$
5. Два шарика диаметром 4 см размещены на расстоянии 100 м друг от друга на горизонтальной плоскости находящейся около 43° СШ. Шарик 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?
6. Вычислить толщину слоя между уровнями давления 1000 гПа и 500 гПа для постоянной температуры 273 К и 250 К.
7. Вычислить изменение температуры за 3 ч, которое будет зарегистрировано приборами на свободном уравновешенном аэростате, смещающемся на северо-восток со скоростью 11 м/с, если горизонтальный градиент температуры численно равен 2°C на 100 км и направлен на юг, а повышение температуры за последние 3 ч по данным станционных измерений составило 0.5°C .
8. Воздушная масса поднимается со скоростью 1 см/с. Вычислить изменение ее температуры за 3 ч, если вертикальный градиент равен $0.5^\circ\text{C}/100\text{ м}$ (температура с высотой убывает), а на некоторой фиксированной высоте температура за это время возросла на 1°C .
9. Вычислить изменение температуры на некотором фиксированном уровне, если воздушная масса адиабатически опускается со скоростью 2 см/с, а вертикальный градиент температуры в атмосфере равен $0.6^\circ\text{C}/100\text{ м}$ (температура с высотой убывает).
10. 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°C 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.

11. Получить связь между температурой адиабатически поднимающейся частицы и температурой окружающей среды, если известно, что температура среды линейно падает с высотой: .

12. Самолет, летящий с курсом 60° (т.е. 60° к востоку от севера) со скоростью 200 м / с, сносится ветром так, что движется относительно земли на восток (90°) со скоростью 225 м/с. Если самолет летит при постоянном давлении, какова скорость изменения его высоты (в метрах на километр горизонтального расстояния) при условии постоянного поля давления, геострофического ветра и параметр Кориолиса $f = 10^{-4}\text{с}^{-1}$?

13. Скорость наблюдаемого ветра в некоторой области отклонена направо под углом 30° относительно изобар (линий постоянного давления). Каково ускорение, действующее на этот ветер, если градиент поля давления таков, что скорость геострофического ветра = 20 м/с, а область расположена на широте с $f = 10^{-4}\text{с}^{-1}$.

14. Рассчитайте геострофическую скорость ветра (м/с) на изобарической поверхности для градиента геопотенциальной высоты 100 м на 1000 км и сравните со всеми возможными градиентными скоростями ветра для того же градиента геопотенциальной высоты и радиуса кривизны ± 500 км. Пусть $f = 10^{-4}\text{с}^{-1}$.

15. Предположим, что вертикальный столб атмосферы на 43° СШ изначально изотермический в диапазоне высот 900 - 500 гПа. Геострофический ветер на разных высотных уровнях: южный, 10 м/с на 900 гПа, западный 10 м/с на 700 гПа и западный 20 м/с на 500 гПа. Рассчитать средние горизонтальные градиенты температуры в слоях 900-700 гПа и 700-500 гПа. Вычислить скорость изменения адвективной температуры в каждом слое. Как долго этот адвекционный паттерн должен сохраняться, чтобы между 600 и 800 гПа установилась величина сухого адиабатического градиента температуры ($9.8^\circ\text{C}/\text{км}$), в предположении, что градиент температуры линейен между 900 и 500 гПа и что толщина слоя между 800 и 600 гПа составляет 2,25 км.

16. Средняя температура в слое между 750 и 500 гПа при $f = 10^{-4}\text{с}^{-1}$ уменьшается в восточном направлении на 3°C на 100 км. Если геострофический ветер на 750 гПа дует с юго-востока со скоростью 20 м/с, какова скорость и направление геострофического ветра на 500 гПа? Какова средняя температурная адвекции в слое между 750 и 500 гПа?

17. Цилиндрический столб воздуха радиусом 100 км на 30° с.ш. расширяется в два раза по сравнению с первоначальным радиусом. Если воздух изначально покоится, какова средняя тангенциальная скорость по периметру после расширения?

18. Метеостанции расположены в вершинах равностороннего прямоугольного треугольника с катетами 5 км и гипотенузой лежащей на северо-восток. На северной станции дует ветер со скоростью 10 м/с с азимутом 60° , на южной 7 м/с с азимутом 80° , на юго-восточной 12 м/с с азимутом 105° . Найти завихренность.

19. 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?

20. Вычислите скорость изменения циркуляции вокруг квадрата в плоскости (x, y) с углами в точках (0, 0), (0, L), (L, L) и (L, 0), если температура увеличивается в восточном направлении на скорость 1°C на 200 км, а давление увеличивается к северу со скоростью 1 гПа на 200 км. Пусть $L = 1000$ км, а давление в точке (0, 0) равно 1000 гПа.

21. 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 и предположим, что плотность постоянна)

22. Наблюдается периодическая облачная структура. Период прохождения отдельных облаков через выбранную точку составляет 10 минут, а абсолютная скорость ветра на уровне движения облаков 50 м/с. Чему равно расстояние между облаками?

23. Частота вертикальной вибрации моторной лодки составляет 2 Гц, скорость 45 км/ч. Если лодка движется перпендикулярно фронту волнения, какова длина волны?

24. На футбольном матче звук свистка судьи составляет $\nu = 3000$ Гц, скорость ветра $V=10$ м/с, ветер имеет северо-западное направление. Какую частоту будут слышать на Северной и Южной трибунах, если температура воздуха $T = 16^\circ\text{C}$?

25. Для ламинарного потока во вращающемся цилиндрическом сосуде, заполненном водой (молекулярная кинематическая вязкость $\nu = 0,01$ см² 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?

Задачи для экзамена (Владеть)

1. Пренебрегая широтным изменением радиуса Земли, вычислить угол между векторами действующей силы тяжести и силой тяжести без учёта вращения Земли как функцию широты на поверхности. Чему равно максимальное значение этого угла?

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 273К и давлением на поверхности 1000 гПа. (Используйте закон идеального газа и уравнение гидростатического баланса)

3. Показать, что в атмосфере с линейным градиентом температуры геопотенциальная высота уровня давления будет: $Z(p) = \frac{T_0}{\gamma} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-R\gamma/g} \right]$ где p_0 - давление и температура при $Z = 0$, а g - ускорение свободного падения.

4. Показать, что в атмосфере с постоянной потенциальной температурой (сухоадиабатический градиент) геопотенциальная высота определяется как: $Z(p) = H_\theta \left[1 - \left(\frac{p_0}{p} \right)^{-R/c_p} \right]$ где p_0 - давление при $Z = 0$, и $H_\theta = c_p \theta / g$ - полная геопотенциальная высота атмосферы.

5. Торнадо вращается с постоянной угловой скоростью ω . Покажите, что поверхностное давление в центре торнадо определяется как: $p(r) = p_0 e^{\frac{-\omega^2 r_0^2}{2RT}}$ где p_0 - поверхностное давление на расстоянии r_0 от центра, а T - температура (постоянная). Если температура составляет 288 К, а давление и скорость ветра на расстоянии 100 м от центра равны 1000 гПа и 100 м/с, соответственно, каково давление в центре?

6. Покажите, что вертикально интегрированный массоперенос в ветровом приземном слое океана Экмана направлен на 90° вправо от напряжения приземного ветра в северном полушарии. Объясните этот результат физически.

7. Покажите, что для изотермического движения ($DT/Dt = 0$) скорость акустической волны определяется выражением $(gH)^{1/2}$, где $H = RT/g$ - масштабная высота.

8. Показать, что собственный вектор групповой скорости в двумерных внутренних гравитационных волнах параллелен линиям постоянной фазы

Оценивание обучающихся происходит с использованием нормативных оценок на экзамене – 5 –отлично, 4-хорошо, 3-удовлетворительно, 2 –неудовлетворительно.

9. Показать, что геострофический анализ неприменим для исследования поля термосферного ветра.

10. Показать, что атомарный кислород является основным химическим нейтральным компонентом ионосферы.

11. Построить вертикальное распределение плотности в зависимости от различных значений средней температуры и в присутствии постоянного температурного градиента.
12. Построить поле давления для циклонического и антициклонического образования. При помощи геострофического приближения оценить поле ветра.
13. Построить вертикальную динамику воздуха в неоднородном поле ветра.
14. Показать, что концентрация электронов в термосфере, или озона в стратосфере будет иметь максимум.

Критерии оценивания результатов обучения

Критерии	Шкала оценивания			
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Не удовлетворительно
Владение специальной терминологией	Свободно владеет терминологией из различных разделов курса	Владеет терминологией, делает ошибки; при неверном употреблении сам может их исправить	Редко использует при ответе термины, подменяет одни понятия другими, не всегда понимая разницы	Не владеет терминологией по курсу
Глубина и полнота знания теоретических основ курса	Демонстрирует прекрасное знание предмета, соединяя при ответе знания из разных разделов, добавляя комментарии, пояснения, обоснования	Хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи, может провести анализ и т.д., но не всегда делает это самостоятельно без помощи экзаменатора	Отвечает только на конкретный вопрос, соединяет знания из разных разделов курса только при наводящих вопросах экзаменатора	Не владеет теоретическими основами курса
Умение проиллюстрировать теоретический материал примерами	Отвечая на вопрос, может быстро и безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами	Может подобрать соответствующие примеры из имеющихся в учебных материалах	С трудом может соотнести теорию и практические примеры из учебных материалов; примеры не всегда правильные	Не может соотнести теоретические знания и практические примеры
Дискурсивные умения	Демонстрирует различные формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Владеет аргументацией, грамотной, лаконичной, доступной и понятной речью.	Присутствуют некоторые формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Хорошая аргументация, четкость, лаконичность ответов.	С трудом применяются некоторые формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д. Слабая аргументация, нарушенная логика при ответе, однообразные формы изложения мыслей.	Не может применить формы мыслительной деятельности: анализ, синтез, сравнение, обобщение и т.д.
Решение задач	Задача решена полностью. Свободно владеет теоретическими основами необходимыми для решения задачи. Умеет вывести необходимые уравнения и формулы для решения задачи.	Задача решена полностью. Имеет представление на основе каких теоретических представлений базируются выражения необходимые для решения задачи. Знает уравнения и формулы, необходимые для решения задачи.	Задача решена частично. С трудом объясняет исходные посыпки необходимые для решения задачи. Формулы и уравнения необходимые для решения задачи знает частично.	Задача не решена