



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра метеорологии и физики околоземного космического пространства

УТВЕРЖДАЮ
декан географического факультета,
доц. Вологжина С. Ж.



«18» июня 2021 г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Б1.В.10 Численные методы анализа и прогноза погоды

Направление подготовки: 05.03.04 Гидрометеорология

Профиль подготовки: Информационные технологии в метеорологии

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная/заочная

Согласовано с УМК географического факультета

Протокол №6 от «18» июня 2021 г.

Председатель  С.Ж. Вологжина

Рекомендовано кафедрой метеорологии и физики околоземного космического пространства

Протокол №7 от «15» июня 2021 г.

Зав.кафедрой  Латышева И.В.

Иркутск 2021 г.

Содержание

	стр.
I. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)	5
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	5
4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	7
4.3 Содержание учебного материала	8
4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	9
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов	9
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	10
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	10
а) перечень литературы	10
б) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	11
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	11
6.1. Учебно-лабораторное оборудование	11
6.2. Программное обеспечение	12
6.3. Технические и электронные средства обучения	12
VII. Образовательные технологии	12
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации	12

I. Цели и задачи дисциплины (модуля) Б1.В.14 «Численные методы прогноза погоды»:

Цель: формирование представлений об уравнениях математических моделей погодных образований, и их решении при помощи современных вычислительных устройств.

Задачи:

- научить использовать теоретические представления о динамике воздушных масс для практических применений;
- применять программные средства для решения дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений;
- интерполировать регулярные сетки метеопараметров из исходных данных наблюдений.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

2.1. Учебная дисциплина (модуль) Б1.В.12 «Численные методы анализа и прогноза погоды» относится к обязательной части программы.

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами: Б1.О.15 «Физика»; Б1.О.16.01 «Аналитическая геометрия и высшая алгебра»; Б1.О.16.02 «Математический анализ»; Б1.О.01 «Информатика»; Б1.О.24 «Программирование в гидрометеорологии»; Б1.О.26 «Физическая метеорология»; Б1.В.03 «Динамическая метеорология»

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

Б2.В.01(У) Научно-исследовательская работа (получение навыков научно-исследовательской работы).

Б2.В.02(П) Технологическая (проектно-технологическая).

Б3.01(Д) Выполнение, подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы.

Дисциплина является итоговой.

Разделы, включенных в программу дисциплины «Численные методы анализа и прогноза погоды», представляет собой итоговый этап единой системы подготовки бакалавров по направлению подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология». Успешное освоение материала данной дисциплины возможно при условии овладения студентами фундаментальными знаниями в физике, математике и программировании. Введением в дисциплину является курс «Динамическая метеорология», основывающийся на «Физической метеорологии». Курсы «Математического анализа», «Аналитической геометрии и высшей алгебры» с элементами векторного анализа читаемыми в рамках «Динамической метеорологии», и знаний об основных физических законах, полученных в рамках курсов «Физики» и «Физической метеорологии» с методами их математического моделирования на основе решения дифференциальных уравнений читаемыми в рамках «Динамической метеорологии» приведёт к получению навыков необходимых для освоения дисциплины «Численные методы анализа и прогноза погоды». Сведения полученные в курсах «Информатика» и «Программирование в гидрометеорологии» необходимы для решения базовых практических задач в курсе «Численные методы анализа и прогноза погоды».

III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология»:

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю),
соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
<p align="center">ПК-7</p> <p>Способен использовать стандартное и специализированное программное обеспечение (в т.ч. ГИС-технологии) для подготовки информационно-справочных и аналитических материалов, имеющих гидрометеорологическую направленность</p>	<p align="center">ИДК_{ПК7.1}</p> <p>Выполняет технологические операции по сбору, обработке, подготовке, анализу и интерпретации гидрометеорологической информации с применением вычислительной техники</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - теоретические основы закономерностей атмосферной динамики. <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать уравнения движения воздуха, сохранения импульса массы и энергии для создания простых математических моделей динамики атмосферы <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - математическим аппаратом моделирования атмосферной динамики и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики при помощи ПК.

	<p style="text-align: center;">ИДК_{ПК7.2}</p> <p>Использует приёмы визуализации, представления и анализа космических снимков и геопространственных данных с использованием ГИС-технологии</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - приёмы визуализации, представления и анализа космических снимков и геопространственных данных с использованием ГИС-технологии <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать методы дешифрирования космических снимков и выходных данных ГИС-технологии для решения научных и практических задач в области гидрометеорологии. <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - математическим аппаратом обработки и визуализации исходных гидрометеорологических данных и базовыми навыками численного моделирования атмосферной динамики в целях мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы.
--	---	---

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов,
 Форма промежуточной аттестации: экзамен

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов (очное/заочное обучение)

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр/курс	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися				
					Лекции	Семинарские /практические /лабораторные занятия	Консультации		
1	Квазигеострофический анализ	8/5	18		4/2	6/2		6/30	Устный опрос
2	Бароклинная динамика	8/5	18		4/2	6/2		6/30	Устный опрос
3	Модели и методы численного прогноза погоды	8/5	64/34		10/2	24/2		10/30	Устный опрос
	КСР		2						
Итого часов			108		24/6	24/6		22/90	

4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
8/5	Квазигеострофический анализ	Решение задач	В течение семестра	6/30	Конспект	Конспекты лекций, семинаров, литература: ОЛ: 1-4 ДЛ: 1-6
8/5	Бароклинная динамика	Решение задач	В течение семестра	6/30	Конспект	Конспекты лекций, семинаров, литература: ОЛ: 1-4 ДЛ: 1-6
8/5	Модели и методы численного прогноза погоды	Решение задач	В течение семестра	10/30	Конспект	Конспекты лекций, семинаров, литература: ОЛ: 1-4 ДЛ: 1-6
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				22/90		

4.3 Содержание учебного материала

1. Квазигеострофический анализ

Наблюдаемая структура внетропической 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.

2. 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 Рэля. Проблема устойчивости вихрей. Рост и распространение нейтральных мод. Переходной рост нейтральных волн, развитие по потоку.

3. Модели и методы численного прогноза погоды

Система усвоения данных. Объективный анализ. Вариационная ассимиляция. Инициализация. Глобальные и региональные модели. Конечно-разностный метод. Спектральный метод. Метод конечных элементов. Параметризации метеорологических процессов. Долгосрочные и сверхдолгосрочные прогнозы погоды. Возможности повышения качества прогнозов.

IV.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции* (индикаторы)
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	Квазигеострофический анализ	Решение задач	6/2		Конспект	ПК-7 ИДК _{пк7.2}
2	Бароклиновая динамика	Решение задач	6/2		Конспект	ПК-7 ИДК _{пк7.2}
3	Модели и методы численного прогноза погоды	Решение задач	24/2		Конспект	ПК-7 ИДК _{пк7.2}

4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	Квазигеострофический анализ	Вертикальное движение	ПК-7	ИДК _{пк7.2}
2	Бароклиновая динамика	Бароклиновая неустойчивость в непрерывно стратифицированной атмосфере	ПК-7	ИДК _{пк7.2}
3	Модели и методы численного прогноза погоды	Глобальные и региональные модели.	ПК-7	ИДК _{пк7.2}

4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа подразумевает самостоятельное изучение раздела темы при помощи конспектов лекций размещённых в ЭИОС по соответствующей дисциплине «Численные методы анализа и прогноза погоды». Кроме этого рекомендуется использовать литературу из раздела V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ). Для выполнения самостоятельной работы студенты должны пользоваться навыками, полученными на предшествующих лекциях, в ходе работы на семинарах и решении домашних заданий. В результате самостоятельной работы учащиеся должны продемонстрировать промежуточные этапы вывода соотношений тем из таблицы 4.3.2, провести анализ полученных соотношений, сопроводить полученные результаты поясняющим текстом. Для более качественного усвоения материала учащимся рекомендуется составить одну или несколько задач по теме самостоятельной работы. Учащиеся могут объединяться в группы для решения самостоятельной работы.

V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

а) перечень литературы

Основная:

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

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

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

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

Дополнительная:

1. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы./ Л.: Гидрометеоздат, 1984. 752 с. (34 экз.).

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

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

4. Задачник по динамической метеорологии / Л. С. Гандин [и др.]; ред. Д. Л. Лайхтман. - Л.: Гидрометеоздат, 1957. - 181 с. - 6.85 р. (1 экз.).

5. Задачник по динамической метеорологии: учеб. пособие для вузов по спец. "Метеорология" / А. С. Гаврилов [и др.]. - Л.: Гидрометеоздат, 1984. - 165 с.: ил.; 22 см. - Авт. указаны на обороте тит. л. - 0.80 р. УДК 551.511.3(076.1) (1 экз.).

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

б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. <https://yandex.ru/>
2. <https://rusneb.ru/>
3. <https://elibrary.ru/>
4. <https://www.ventusky.com/>

VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Лекционные занятия проходят в аудитории на 30 посадочных мест с мультимедийным оборудованием и учебной мебелью.

Практические занятия, требующие использование персональных компьютеров проходят в компьютерном классе на 14 посадочных мест.

6.2. Программное обеспечение:

Для численного решения задач и визуализации полученных решений используется ПО с открытым исходным кодом Anaconda – интерпретатор языка python с набором библиотек для обработки и визуализации данных, решения дифференциальных уравнений.

6.3. Технические и электронные средства:

Учебный материал подается с использованием современных средств визуализации с применением мультимедийного оборудования.

Персональные компьютеры для выполнения практических и самостоятельных работ.

По каждой теме дисциплины подготовлены конспекты лекций, размещенные в открытом доступе в ЭИОС.

VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

Информационные технологии: занятия сопровождаются мультимедийными презентациями, решение задач сопровождается численным моделированием и визуализацией полученных результатов при помощи средств ПО Anaconda.

Проектная технология: организация самостоятельной работы студентов, когда обучение происходит в процессе деятельности, направленной на разрешение проблемы, возникшей в ходе самостоятельной работы над темами из таблицы 4.3.2.

Проблемное обучение: стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний из материалов п. V. **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**, необходимых для решения конкретной проблемы.

Контекстное обучение: мотивация студентов к усвоению знаний путем выявления связей между конкретным знанием и его применением;

Обучение на основе опыта: активизация познавательной деятельности студента проводится за счет ассоциации и собственного опыта.

Обучение критическому мышлению: построение занятия по определенному алгоритму – последовательно, в соответствии с тремя фазами: вызов, осмысление и рефлексия. Цель данной образовательной технологии – развитие мыслительных навыков обучающихся, необходимых не только при изучении учебных предметов, но и в обычной жизни, и в профессиональной деятельности (умение принимать взвешенные решения, работать с информацией и др.).

Станционное обучение: организация целенаправленной и планомерной самостоятельной работы студентов на занятии в мини-группах в целях более эффективного усвоения проходимого материала, когда каждая группа выбирает свою образовательную траекторию, и студенты сами оценивают свою работу.

VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1 Оценочные материалы (ОМ):

Оценочные материалы для входного контроля – не предусмотрены.

Оценочные материалы текущего контроля

Тема или раздел дисциплины	Показатель	Критерий оценивания	Формируемые компетенции и индикаторы
Квазигеострофический анализ	Знает структуру внетропической циркуляции. Умеет вывести или знает запись уравнений: термодинамической энергии, завихренности и потенциальной завихренности, непрерывности, дивергенции, импульса в квазигеострофическом приближении. Понимает использование потенциальной завихренности, концепцию сохранения потенциальной завихренности, может записать или вывести квазигеострофическое уравнение барической или высотной тенденции. Понимает или может вывести уравнение квазигеострофического вертикального движения, имеет представление о циркуляционных структурах. Понимает физическую картину бароклинного возмущения, может записать изобарическую форму квазигеострофических уравнений.	Решил задачи домашнего задания, знает ответы на контрольные вопросы.	ПК-7 ИДК_{ПК7.2}
Бароклинная динамика	Может описать развитие гидродинамической бароклинной неустойчивости. Понимает использование линейного возмущения функции потока для анализа двухслойной модели возмущения. Знает структуру вертикальных движений в бароклинных волнах.	Решил задачи домашнего задания, знает ответы на контрольные вопросы.	ПК-7 ИДК_{ПК7.2}

Тема или раздел дисциплины	Показатель	Критерий оценивания	Формируемые компетенции и индикаторы
	<p>Понимает концепцию доступной потенциальной энергии, применяет уравнение энергии в двухслойной модели. Понимает теорему Рэля для неустойчивости в стратифицированной атмосфере. Понимает проблему устойчивости вихрей. Знает теорию развития нейтральных волн.</p>		
<p>Модели и методы численного прогноза погоды</p>	<p>Понимает концепцию системы усвоения данных, их объективного анализа. Понимает что такое вариационная ассимиляция. Знает проблему решение начальных колебаний подгонкой данных. Может рассказать особенности глобальных и региональных моделей. Понимает суть конечно-разностного метода, спектрального метода, метода конечных элементов. Понимает причину необходимости параметризации метеорологических процессов. Описывает принципы, на которых основано прогнозирование по ансамблю, и как такой подход может быть использован для краткосрочного, среднесрочного и долгосрочного прогнозирования. Объясняет научные основы помесячного, сезонного и внутригодового прогнозирования.</p>	<p>Решил задачи домашнего задания, знает ответы на контрольные вопросы.</p>	<p>ПК-7 ИДК_{ПК7.2}</p>

Перечень контрольных вопросов и вопросов к экзамену

1. Наблюдаемая структура внетропической циркуляции.
2. Вывод квазигеострофических уравнений.
3. Использование потенциальной завихренности.
4. Сохранение потенциальной завихренности.
5. Вертикальное движение в квазигеострофическом приближении.
6. Идеализированная модель бароклинного возмущения.
7. Изобарическая форма квазигеострофических уравнений.
8. Гидродинамическая неустойчивость. Нормальный режим бароклинной неустойчивости, двухслойная модель.
9. Вертикальные движения в бароклинных волнах.
10. Энергетика бароклинных волн. Доступная потенциальная энергия. Уравнение энергии в двухслойной модели.
11. Бароклинная неустойчивость в непрерывно стратифицированной атмосфере. Теорема Рэлея.
12. Проблема устойчивости вихрей.
13. Рост и распространение нейтральных мод (волн).
14. Система усвоения данных. Объективный анализ. Вариационная ассимиляция. Инициализация.
15. Глобальные и региональные модели.
16. Конечно-разностный метод моделирования.
17. Спектральный метод моделирования.
18. Метод конечных элементов.
19. Параметризации метеорологических процессов.
20. Долгосрочные и сверхдолгосрочные прогнозы погоды. Возможности повышения качества прогнозов.

Список задач для решения на семинарах, в домашнем задании и на экзамене

1. Покажите, что для основного состояния с линейным сдвигом, $U = \lambda z$, где λ постоянная, квазигеострофическая потенциальная завихренность зависит только от z , и что возмущение подчиняется уравнению: $\left(\frac{\partial}{\partial t} + U \frac{\partial}{\partial x}\right) q = 0$
2. Рассмотрим две сферические циклонические аномалии квазигеострофическая потенциальной завихренности. Одна аномалия расположена в начале координат и имеет единичный радиус. Вторая аномалия расположена в точке $(x, y, z) = (2, 0, 0)$ и имеет радиус и амплитуду, равные половине соответствующих значений другой аномалии. Нарисуйте эскиз (x, y) , оценивающий траекторию, прочерченную этими двумя аномалиями, предполагая, что их форма сохранена. Нарисуйте второй эскиз, показывающий поле w на уровне выше аномалий.
3. Предположим, что существует сложная структура потенциальной завихренности, которая полностью содержится внутри куба со сторонами длины L . Не зная подробной структуры завихренности, выведите формулу, связывающую циркуляцию на боковых сторонах куба и среднее значение θ на верхней и нижней части куба, со средним значением завихренности внутри куба. Для решения необходимо показать, что квазигеострофическая потенциальная завихренность может быть выражена как дивергенция векторного поля.
4. Покажите с помощью $\alpha = kU_T \left(\frac{2\lambda^2 - k^2}{2\lambda^2 + k^2}\right)^{1/2}$, что максимальная скорость нарастания бароклинной неустойчивости при $\beta = 0$ имеет место для $k^2 = 2\lambda^2(\sqrt{2} - 1)$. За какое время наиболее быстро нарастающая волна усилится в e (2.71) раз, если $\lambda^2 = 2 \times 10^{-12} \text{ м}^{-1}$, $U_T = 20 \text{ мс}^{-1}$?
5. Для случая $\beta = 0$ определить разность фаз между полями геопотенциала 250 и 750 гПа

для наиболее неустойчивой бароклинной волны. Покажите, что поля геопотенциала и толщины (ψ_m, ψ_T) на 500 гПа сдвинуты по фазе на 90° .

6. Вычислите полную потенциальную энергию на единицу площади поперечного сечения для атмосферы с адиабатическим градиентом при условии, что температура и давление у земли равны $p = 10^5$ Па и $T = 300$ К соответственно.

7. Нестабильные бароклинные волны играют важную роль в глобальном балансе тепла, перенося тепло к полюсу. Покажите, что для решения волны Иди поток тепла к полюсу, усредненный по длине волны $\overline{vT'} = \frac{1}{L} \int_0^L v T' dx$ не зависит от высоты и положителен для нарастающей волны. Как изменится величина теплового потока в данный момент времени, если средний сдвиг ветра увеличить вдвое?

8. Создать алгоритм, решающий систему уравнений геострофического ветра со слагаемыми кривизны:

$$\begin{aligned} \frac{Du}{Dt} &= 2\Omega \sin(\phi)v + \frac{uv}{r} \operatorname{tg}(\phi) \\ \frac{Dv}{Dt} &= -2\Omega \sin(\phi)u - \frac{u^2}{r} \operatorname{tg}(\phi) \end{aligned}$$

Использовать встроенный в Anaconda метод решения. Визуализировать решения на двумерной плоскости. Задавая различные начальные значения скорости, и широты, показать степень влияния слагаемых кривизны на траектории моделируемых частиц.

9. Создать алгоритм построения температурного профиля атмосферы у которого температура на поверхности равна 288.15 К, а в диапазоне высот 0-11 км действует градиент: $\frac{\partial T}{\partial z} = -6.5 \times 10^{-3} \text{ К м}^{-1}$, 11-20 км: $\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \text{ К м}^{-1}$, 20-32 км: $\frac{\partial T}{\partial z} = 1 \times 10^{-3} \text{ К м}^{-1}$, 32-47 км: $\frac{\partial T}{\partial z} = 2.8 \times 10^{-3} \text{ К м}^{-1}$ 47-51 км: $\frac{\partial T}{\partial z} = 0 \text{ К м}^{-1}$. На основе построенного температурного профиля построить профиль давления, потенциальной температуры, плотности и параметра статической устойчивости.

10. Идеализированное представление синоптического возмущения средних широт в атмосфере без зонального среднего потока дается простой синусоидальной картиной геопотенциала:

$$\Phi(x, y, t) = \Phi_0 + \Phi' \sin[k(x - ct)] \sin ly$$

где $\Phi_0(p)$ геопотенциал атмосферы полученной в предыдущей задаче, Φ' амплитуда вариации геопотенциала, c скорость распространения волны возмущения в зональном направлении k, l волновые числа возмущения вдоль x, y . Если поток находится в геострофическом равновесии, то геопотенциал пропорционален функции потока. Пусть зональное и меридиональное волновые числа равны ($k = l$), а амплитуда возмущения ветра: $U' = \Phi' k / f_0$, где f_0 параметр Кориолиса. Тогда траектории задаются путями в пространстве (x, y) , полученными путем решения связанной системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{Dx}{Dt} = u &= \frac{-1}{f_0} \frac{\partial \Phi}{\partial y} = U' \sin[k(x - ct)] \sin ly \\ \frac{Dy}{Dt} = v &= \frac{1}{f_0} \frac{\partial \Phi}{\partial x} = U' \cos[k(x - ct)] \cos ly \end{aligned}$$

Создать алгоритм, решающий систему уравнений. Использовать встроенный в Anaconda метод решения. Визуализировать исходные данные поля геопотенциала и решения на двумерной плоскости для случая вариации ветра 10 м/с и скоростей распространения возмущения 5, 10 и 15 м/с. Пояснить результаты.

11. По полученным от преподавателя данным наблюдений (текстовый файл) визуализировать двумерную карту высоты уровня 500 гПа и поля горизонтального ветра. На основе представленных данных вычислить и построить карты поля геострофического ветра,

относительной завихренности, завихренности геострофического ветра и разности относительной завихренности и завихренности геострофического ветра. Объясните распределение и знак областей с большими различиями между завихренностью и геострофической завихренностью с точки зрения баланса сил.

Текущий контроль в виде проверки отчета по домашней или самостоятельной работе, предполагает следующие варианты оценивания:

Отметка "отлично" ставится, если студент:

- 1) правильно решил 100% задач;
- 2) самостоятельно изучил тему, вывел нужные соотношения, составил конспект;
- 3) сопроводил полученные результаты алгоритмами и численными данными (python);
- 4) визуализировал результаты (python) и дал необходимые пояснения.

Отметка "хорошо" ставится, если студент выполнил требования к оценке "отлично", но:

- 1) допустил более трёх существенных ошибок в выводах, расчётах или программном коде;
- 2) не вывел соотношения, но понял полученный результат;

Отметка "удовлетворительно" ставится, если студент:

- 1) правильно решил менее 50% задач;
- 2) имеет конспект, но не показывает знаний в рамках самостоятельно изученной темы;
- 3) не сопроводил ни один полученный результат алгоритмом и численными данными;
- 4) не сделал визуализацию результата не может дать полных пояснений.

Отметка "неудовлетворительно" ставится, если студент:

- 1) не решил ни одной задачи;
- 2) не имеет конспекта самостоятельно изученной темы.

Пример экзаменационного билета

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина Б1.В.10 Численные методы анализа и прогноза погоды

Направление подготовки 05.03.04 Гидрометеорология

1. Наблюдаемая структура внетропической циркуляции.
2. Идеализированная модель бароклинного возмущения.
3. Создать алгоритм, решающий систему уравнений геострофического ветра со слагаемыми кривизны:

$$\begin{aligned}\frac{Du}{Dt} &= 2\Omega \sin(\phi)v + \frac{uv}{r} \operatorname{tg}(\phi) \\ \frac{Dv}{Dt} &= -2\Omega \sin(\phi)u - \frac{u^2}{r} \operatorname{tg}(\phi)\end{aligned}$$

Использовать встроенный в Anaconda метод решения. Визуализировать решения на двумерной плоскости. Задавая различные начальные значения скорости, и широты, показать степень влияния слагаемых кривизны на траектории моделируемых частиц.

Критерии оценки:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если даны правильные ответы на 2 из 2 вопросов, решена задача;
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если даны не точные или не полные ответы на 2 из 2 вопросов или задача решена не точно;
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если даны правильные ответы на 1 из 2 вопросов, или только решена задача;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если ответы на вопросы в билете не даны, и задача не решена.

Разработчик:



(подпись)

доцент кафедры метеорологии и физики
околоземного космического пространства

(занимаемая должность)

Р.В. Васильев

(инициалы, фамилия)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 05.04.04 Гидрометеорология, направленность (профиль) «Информационные технологии в гидрометеорологии»

Программа рассмотрена на заседании кафедры метеорологии и физики околоземного космического пространства

«15» июня 2021 г. Протокол № 7

Зав. кафедрой  И.В. Латышева

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