

Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации

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

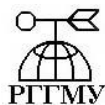
Для заочной формы обучения

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ
по дисциплине**

«ДИНАМИЧЕСКАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ»

Направление подготовки 05.03.05. – Прикладная
гидрометеорология
Профиль подготовки – Прикладная метеорология
Квалификация (степень) -
Бакалавр академический



Санкт-Петербург
2019

Одобрено Ученым советом метеорологического факультета РГГМУ

К 55УД1.5(075)+551 *46(075. 8)

Руководство к выполнению курсовой работы по дисциплине
«Динамическая метеорология» для высших учебных заведений.
Направление подготовки 05.03.05. – Прикладная гидрометеорология.
Профиль подготовки – Прикладная метеорология. Квалификация (степень)
– Бакалавр академический. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2019. – 44 с.

Руководство к выполнению курсовой работы составлено в соответствии с программой дисциплины «Динамическая метеорология». Даются рекомендации по выбору основных вопросов в каждой из предлагаемых тем, на которые следует обратить внимание при выполнении курсовой работы. Приводятся темы курсовых работ, вопросы для самопроверки, рекомендуемая литература, примеры решения задачи и варианты задач, прилагаемых к темам курсовой работы.

Составители: К.Л.Егоров, кандидат физ-мат. наук, доцент
кафедры ЭФА, РГГМУ;
Н.С. Еремина, старший преподаватель кафедры ЭФА, РГГМУ.

Ответственный редактор: К.Л.Егоров, кандидат физ-мат. наук,
доцент каф.ЭФА, РГГМУ

© Российский государственный гидрометеорологический
университет (РГГМУ), 2019

Общие указания

Динамическая метеорология является фундаментальной метеорологической дисциплиной, формирующей у студента глубокое понимание атмосферных процессов. Такое понимание формируется на основе общих физических законов сохранения, а также знаний, полученных в курсах физики, гидромеханики, общей метеорологии и математики. Обобщение этих знаний позволяет сформулировать систему дифференциальных уравнений, описывающих широкий спектр термодинамических и динамических процессов в атмосфере, которая решается аналитически или численно при определённых граничных и начальных условиях.

Знания, полученные при изучении курса динамической метеорологии, используются в синоптической метеорологии, гидродинамических прогнозах, климатологии, авиационных прогнозах, экологии и охраны атмосферы, а также в ряде дисциплин, формирующих специализации.

Задачей дисциплины «динамическая метеорология» является последовательное изложение теоретического материала с описанием различных примеров реальных метеорологических явлений. В результате освоения этих знаний студенты должны:

- уметь творчески осмысливать широкий спектр атмосферных процессов;
- обладать навыками постановки задач для их успешного математического моделирования;
- решать задачи, связанные с количественными оценками параметров исследуемого процесса, как в рамках аналитических моделей, так и с использованием современной вычислительной техники.

Именно эти элементы полученных студентами знаний должны быть отражены в курсовой работе по дисциплине «динамическая метеорология».

В результате изучения дисциплины «Динамическая метеорология» формируются следующие компетенции:

ОК-5 - способность к самообразованию, саморазвитию и

самоконтролю, приобретению новых знаний, повышению своей квалификации;

ОПК-1 - способность представить современную картину мира на основе знаний основных положений, законов и методов естественных наук, физики и математики;

ОПК-3 – способность анализировать и интерпретировать данные натурных и лабораторных наблюдений, теоретических расчетов и моделирования;

ПК-2 – способность анализировать явления и процессы, происходящие в природной среде, на основе экспериментальных данных и массивов гидрометеорологической информации, выявлять в них закономерности и отклонения;

ПК-4 – способность к решению гидрометеорологических задач, достижению поставленных критериев и показателей.

Целью курсовой работы по дисциплине «динамическая метеорология» является мотивирование студента к проявлению самостоятельности при оценке объёма теоретического и расчётного материала, который необходимо представить в работе для освещения вопросов, поставленных в предложенной или выбранной самостоятельно теме.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Подольская Э.Л.* Механика жидкости и газа. Раздел «Геофизическая гидродинамика». Учебное пособие. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007.- 154с.
2. *Клёмин В.В., Кулешов Ю.В., Суворов С.С., Волконский Ю.Н.* Динамика атмосферы: Учебник. – СПб.: Наука, 2013. – 421 с.
3. *Русин И.Н.* Динамическая метеорология (ознакомительный курс). Курс лекций. СПб.: изд. РГГМУ, 2008. – 274с.
4. Динамическая метеорология. Под ред. *Лайхтмана Д.Л.* – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 608с.
5. *Радикевич В.М.* Динамическая метеорология для океанологов. Учебное пособие. – Л.: изд. ЛПИ, 1985. – 157с.

6. *Педлоски Дж.* Геофизическая гидродинамика. Т.1 и 2. – М.: Мир, 1984.- 398 с.
7. *Монин А.С.* Гидродинамика атмосферы, океана и земных недр. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1999. – 524с.
8. *Доронин Ю.П.* Динамика океана. – Л.: изд. РГГМУ, 1980. – 304с.
9. *Воробьев В.Н., Смирнов Н.П.* Общая океанология. Ч.II. СПб.: Гидрометеоиздат, 1999. – 230 с.
10. Задачник по динамической метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 166с.
11. Методические указания по дисциплине «Механика жидкости и газа (Геофизическая гидродинамика)». - СПб: изд. РГГМУ, 2016.-39с.
12. Методические указания по дисциплине «Динамическая метеорология»- СПб: изд. РГГМУ, 2017.-44с.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ КУРСОВЫХ РАБОТ

1. Движение в свободной атмосфере: установившееся равномерное движение в поле прямолинейных, параллельных изобар; равномерное установившееся движение в поле криволинейных изобар; инерционные движения; циклострофические движения.

2. Изменение горизонтального барического градиента и геострофического ветра с высотой (термический ветер). Геострофическая адвекция температуры.

3. Поверхности раздела в атмосфере.

4. Инерционные планетарные Волны Россби в атмосфере.

5. Стационарный, горизонтально-однородный пограничный слой атмосферы. Интегральная модель описания его вертикальной структуры.

6. Стационарный, горизонтально-однородный приземный слой. Модель, основанная на теории подобия (модель Монина-Обухова).

7. Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы. Суточный ход температуры воздуха. Ночное понижение температуры поверхности почвы.

8. Влияние бароклиных условий в атмосфере на формирование циркуляции скорости по жидкому замкнутому контуру.

9. Влияние вращения Земли на изменение циркуляции скорости по замкнутому жидкому контуру.

10. Трансформация свойств воздушного потока при его перемещении на подстилающую поверхность с изменившимися свойствами.

Общие замечания

При разработке некоторых тем (ветер в пограничном слое атмосферы, суточный ход температуры, трансформация температуры и влажности в пограничном слое атмосферы) использование и анализ расчётных формул требует предварительного решения дифференциальных уравнений, описывающих временное или пространственное распределение соответствующих физических величин. В связи с этим в содержании курсовой работы должны быть отражены следующие пункты:

а) постановка задачи - включает в себя содержание вопроса; выделение искомого и определяющих параметров; описание физического процесса, в результате которого формируется временное или пространственное распределение искомой величины; привлечение соответствующих дифференциальных уравнений; описание упрощений, введение которых позволяет получить аналитические решения задачи; постановка граничных или начальных условий, необходимых для решения соответствующих дифференциальных уравнений;

б) решение задачи – приводятся возможные преобразования переменных и уравнений с целью приведения их к виду, позволяющему использовать известное построение его решения. Привести в работе весь ход решения задачи в любой из форм изложений, представленных в рекомендованных для изучения учебных пособиях;

в) анализ полученного решения задачи – провести подробный анализ влияния различных параметров, входящих в решение, на поведение искомого физических величин. Отметить

их возможные особые точки, характерные значения и асимптотические поведения функций;

г) численные расчеты – используя конкретные данные, фиксированные в условиях вашего варианта задачи, выполнить численные расчёты искомых физических величин; численные значения некоторых физических параметров являются характерными постоянными величинами и могут быть не указаны в условиях задачи;

д) результаты расчётов – в том случае, когда требуется рассчитать вертикальные профили или временную зависимость каких-либо параметров, результаты целесообразно представить в форме таблиц и в виде соответствующих им графиков; при этом необходимо привести пример подробного расчёта для одной из позиций таблицы с записью единиц измерения в системе СИ для каждого используемого параметра. При компьютерном методе расчёта всего табличного материала представить программу численной реализации;

е) выводы – в этом заключительном пункте работы целесообразно отметить наиболее характерные черты исследуемых зависимостей, порядок численных значений рассчитываемых величин и диапазон их изменения.

Тема 1. Движение в свободной атмосфере: установившееся равномерное движение в поле прямолинейных, параллельных изобар; равномерное установившееся движение в поле криволинейных изобар; инерционные движения; циклострофические движения.

Контрольные вопросы

1. Какое движение называется градиентным.
2. Как направлен вектор скорости при градиентном движении по отношению к действующим силам?
3. Какое ускорение испытывает воздушная масса при равномерном движении по круговой изобаре?
4. Изобразите на рисунке действующие силы, скорость

ветра и ускорение движения в циклонической и антициклонической системах (в северном полушарии).

5. Запишите уравнения движения при круговых изобарах.

6. Почему на экваторе теряют смысл понятия геострофического и градиентного ветра?

7. Каково качественное соотношение между значениями градиентного ветра при циклонической и антициклонической кривизне изобар и геострофической величиной ветра.

8. В каких системах (циклонических или антициклонических) накладывается ограничение на величину горизонтального барического градиента и скорость ветра?

9. Какому условию должна удовлетворять максимально возможная скорость градиентного ветра при антициклонической кривизне изобар? Напишите выражение для расчёта такой скорости.

Содержание работы

Данная тема содержит ряд фундаментальных вопросов динамики свободной атмосферы. Они отражают роль различных слагаемых уравнений движения в процессе формирования движения. В работе необходимо проанализировать варианты уравнений движения с упрощениями и их решения, соответствующие различным типам полей скорости ветра.

Запишите уравнения для горизонтального движения в векторной форме и в проекциях на горизонтальные оси. Приведите пояснения к действующим силам, укажите физические факторы, определяющие их формирование. Отметьте, какое содержание заключено в понятии «свободная атмосфера», и какие упрощения в уравнениях этому соответствуют?

В дальнейшем изложении необходимо рассмотреть возможные варианты решений при различном соотношении сил, участвующих в формировании движения воздуха.

1. Движение без ускорения.

Рассмотреть установившееся движение без ускорения при наличии реальной действующей силы, каковой является сила барического градиента, и инерционной силы Кориолиса;

определить необходимые условия для изменений во времени и в пространстве поля скорости и поля изобар, при которых устанавливается движение без ускорения; получить выражения для скорости ветра и привести анализ её зависимости от определяющих параметров; отметить влияние силы Кориолиса и условия применимости формул на планете.

2. Установившееся движение по круговым изобарам.

Определиться с выбором системы координат, которую будете использовать для записи уравнений и описания движения. В предлагаемых учебниках по динамической метеорологии и методических пособиях есть изложение данной темы в цилиндрической, в натуральной и в декартовой системах координат. Возможно построение уравнений движения и их решение с использованием модулей действующих сил и ускорений.

Отобразить на рисунках поля изобар, действующие силы, ускорение и скорости ветра для различных барических систем. Для анализа можно использовать схему барических систем, аналогичную схеме, приведённой на рисунке 1.

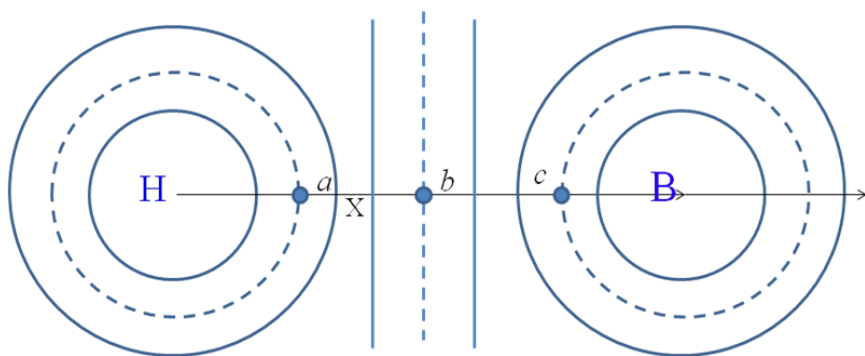


Рис. 1. Пример барических систем для анализа сил, ускорений и скоростей в точках a , b и c .

Основываясь на сравнении действующих сил, проанализировать соотношение скорости реального ветра и его

геострофического значения при циклонической и антициклонической кривизне изобар.

Получить решение уравнения движения для двух различных систем. Обратит внимание на особенности вида решения для антициклонической системы, и какие из этого вытекают следствия.

Получить приближённую формулу для вычисления скорости ветра в точках, удалённых на большое расстояние от центра барического образования. При выводе формулы воспользоваться разложением в ряд по малому параметру.

3. Установившийся характер движения на вращающейся Земле возможен и при отсутствии силы барического градиента. Рассмотреть этот тип движения, причины его инициации и вид траектории.

4. Последний вид поля скорости, который следует рассмотреть, это равномерное движение в поле силы барического градиента при отсутствии силы Кориолиса. Привести описание такого движения и формулу для расчёта скорости.

Выполнить требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 1.

Вариант 1. В левой части рисунка 2 представлена циклоническая система с изобарами на синоптической карте. Разность давлений в точках M и N , удалённых друг от друга на расстоянии 350км, равно стандартному значению 5гпа. Определить значение геострофической величины ветра и его реальное значение в точке A , расположенной от центра циклона на расстоянии $OA=R=750$ км. Чему равна разность значений градиентного ветра при расчётах по точной и приближённой формулам?

Вариант 2. В левой части рисунка 2 представлена циклоническая система с изобарами на синоптической карте. Разность давлений в точках M и N , удалённых друг от друга на расстоянии 380км, равно стандартному значению 5гпа. Рассчитать значение геострофической величины скорости ветра

в пункте, отмеченном точкой A . Определить расстояние, на которое удалён от этого пункта центр циклона, если значение реального градиентного ветра меньше геострофической величины на 20%.

Вариант 3. В правой части рисунка 2 представлена антициклоническая система с изобарами на синоптической карте. Разность давлений в точках M и N , удалённых друг от друга на расстоянии 400км, равно стандартному значению 5гпа. Определить значение геострофической величины ветра и его реальное значение в точке A , расположенной на расстоянии $OA=R=700$ км от центра антициклона. Чему равна разность значений градиентного ветра при расчётах по точной и приближённой формулам? Оценить максимально возможное значение горизонтального градиента давления в точке A ?

Вариант 4. В правой части рисунка 2 представлена антициклоническая система с изобарами на синоптической карте. Разность давлений в точках M и N , удалённых друг от друга на расстоянии 420км, равно стандартному значению 5гпа. Рассчитать значение геострофической величины скорости ветра в пункте, отмеченном точкой A . Определить расстояние, на которое удалён от этого пункта центр антициклона, если значение реального градиентного ветра больше геострофической величины на 20%. Чему равно значение максимально возможной скорости градиентного ветра в точке A ?

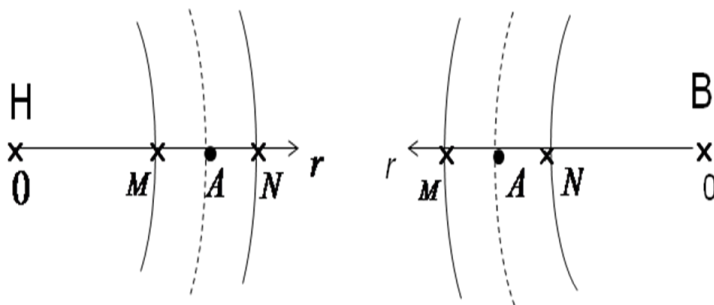


Рис 2. Системы изобар к условию задач темы 1.

Тема 2. Изменение горизонтального барического градиента и геострофического ветра с высотой (термический ветер). Геострофическая адвекция температуры.

Контрольные вопросы

1. Какова связь между величиной горизонтального барического градиента и углом наклона изобарической поверхности по отношению к горизонту.
2. Как и почему может меняться с высотой горизонтальный барический градиент и, как следствие, меняться с высотой вектор геострофического ветра.
3. Что называется термическим ветром?
4. Как связано направление вектора, называемого термическим ветром, с пространственным полем температуры?
5. Каковы локальные следствия температурной адвекции?
6. Каков диапазон изменения угла между векторами скорости ветра и градиента температуры при адвекции тепла?
7. При каком направлении ветра по отношению к изотермам адвективное изменение температуры максимально?
8. Какова качественная связь между характером температурной адвекции и изменением направления геострофического ветра с высотой.

Содержание работы

Прежде всего, до анализа уравнений и формул, описывающих изменение геострофического ветра с высотой, дать описание физических связей между метеорологическими параметрами, ответственными за формирование скорости ветра. Вспомнить понятие «барической ступени» и продемонстрировать на рисунке возможные изменения с высотой наклона изобарических поверхностей. Анализируя связи между параметрами, установить исходную причину, приводящую к изменению с высотой горизонтального барического градиента и, как следствие, геострофического ветра.

Дайте пояснение термина «термический ветер», и выполните соответствующие этим пояснениям рисунки.

На рисунке 3 изображены горизонтальные плоскости на трёх разных высотах Z_1 , Z_2 , Z_3 и геострофический ветер на нижнем уровне Z_1 в точке A_1 . Выполните в работе аналогичный рисунок, нанесите на нём вектора ветра с учётом его изменения на высотах Z_2 , Z_3 в точках A_2 и A_3 и изобразите вектора термического ветра.

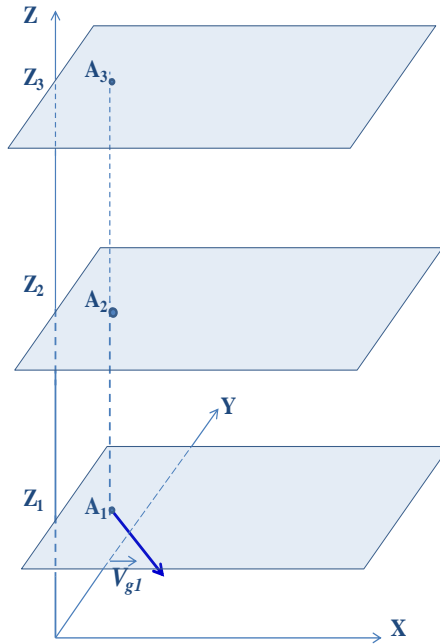


Рис. 3. Пример рисунка для демонстрации изменения ветра с высотой и понятия «термический ветер».

Далее необходимо перейти к выводу функциональных соотношений для изменения с высотой горизонтального барического градиента и геострофического ветра;

привести окончательные формулы для расчёта

термического ветра;

проанализировать связь величины термического ветра и его направления с полем температуры;

представить рисунки для различных возможных вариантов изменения геострофического ветра с высотой. Пример полей давления и температуры, необходимых для анализа изменения геострофического ветра с высотой, приведён на рисунке 4.

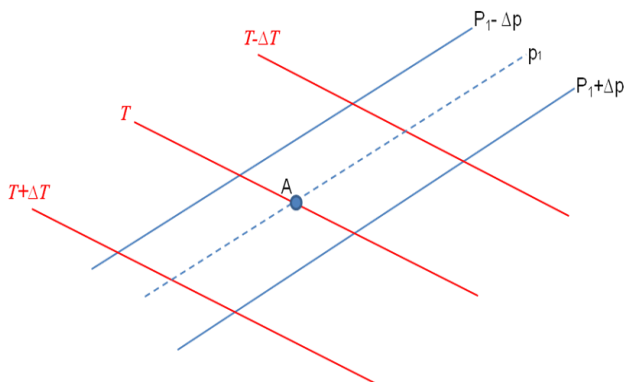


Рис.4. Пример полей давления и температуры для анализа изменения геострофического ветра с высотой и адвективного изменения температуры в фиксированной координатной точке А.

Далее, после анализа изменений геострофического ветра с высотой, перейти к изложению другого возможного проявления горизонтальной неоднородности поля температуры в метеорологических процессах. А именно в процессе, именуемом как адвекция.

Дать определение горизонтальной адвекции, указать адвективные слагаемые в уравнениях притока тепла и пояснить метеорологические последствия этого процесса.

Записать различные варианты формул для расчёта величины адвективных изменений температуры. Дать пояснения на рисунках. Проанализировать зависимость изменений температуры от метеорологических параметров системы.

Получить связь между адвективными изменениями

температуры с термическим ветром и изменением направления ветра с высотой.

Выполнить требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 2.

Вариант 1. У земли геострофический ветер юго-восточный, 10 м/с. На высоте 6 км ветер южный и достигает минимума. Найти геострофический ветер и геострофическую адвекцию температуры на высоте 3 км. Температура на этом уровне равна 273 К, широта места 45° . Горизонтальный градиент температуры не меняется с высотой.

Вариант 2. На уровне 1000 гПа ветер северо-восточный, 10 м/с, а на уровне 700 гПа - северо-северо-восточный. Изогипсы OT_{1000}^{500} имеют широтное направление. На каком уровне ветер достигает минимума и чему он равен?

Вариант 3. У земли геострофический ветер юго-восточный, 10 м/с, а на высоте 6 км - южный. Изогипсы OT_{1000}^{500} имеют широтное направление. Найти ветер и геострофическую адвекцию температуры на высоте 6 км. Широта места равна 60° , средняя температура слоя 260 К, горизонтальный градиент температуры не меняется с высотой.

Вариант 4. На уровне 900 гПа ветер северо-западный, 10 м/с, а на уровне 800 гПа - северо-северо-западный. Изогипсы OT_{1000}^{500} имеют широтное направление. На каком уровне ветер достигает минимума и чему он равен?

Тема 3. Поверхности раздела в атмосфере.

Контрольные вопросы

1. К каким ситуациям в атмосфере применяют понятие «поверхности раздела»?
2. Как меняется с высотой температура воздуха внутри фронтального слоя (на поверхности раздела)?
3. В чём различие понятий «динамического» и

«кинематического» условий, которые должны выполняться на поверхностях раздела?

4. Почему на метеорологических поверхностях раздела должно выполняться условие равенства (непрерывности) давления в теплой и холодной воздушных массах?

5. Поясните смысл кинематического условия на метеорологических поверхностях раздела.

6. Что называют фронтом на синоптических картах?

7. Каков вид барической системы характерен для области расположения фронта, ложбина или гребень?

8. Как может измениться направление ветра в пункте наблюдения после прохождения фронта?

Содержание работы

Поясните смысл, заложенный в понятиях «фронтальные поверхности» и «поверхности раздела».

Приведите примеры формирования в атмосфере поверхностей раздела.

Сформулируйте вывод для скорости поверхности раздела, который следует из анализа законов сохранения массы, количества движения (импульса) и тепла при наличии разрывов плотности и давления.

Назовите условия, которые должны выполняться для давления и скорости частиц среды в тёплой и холодной воздушных массах на поверхности их раздела.

Проанализируйте характер ориентации поверхностей в пространстве для неподвижных и движущихся воздушных масс. Установите тип поля давления (ложбина или гребень), характерный для расположения фронта.

К какому результату приводит равенство градиентов давления вдоль линии фронта?

Представьте вывод формул для оценки тангенса угла наклона поверхности раздела к плоскости горизонта. От разрыва каких метеорологических характеристик зависит эта величина?

Выполните рисунок, аналогичный рисунку 5; изобразите на нём возможное поле изобар; отметьте расположение теплой и холодной воздушных масс; нанесите вектора скорости ветра и

их проекции на направления X и Y в тёплой и в холодной воздушных массах.

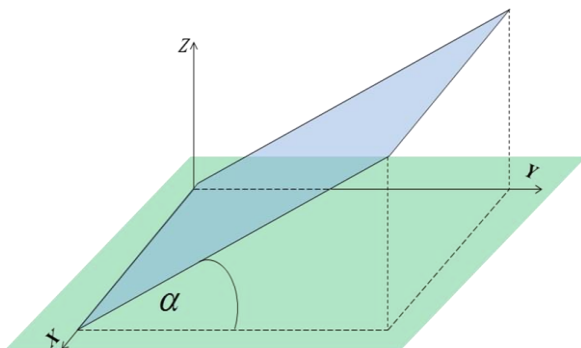


Рис.5. Пример схематичного изображения поверхности раздела.

Приведите рисунки в горизонтальной плоскости с примерами различных возможных изменений поля изобар и скорости в воздушных массах по разные стороны фронтальной линии (смотри рис.6).



Рис.6. Пример рисунка для иллюстрации возможных вариантов полей давления и скорости ветра.

Получите соотношение между проекциями скоростей ветра

в тёплой и холодной воздушных массах на направление, перпендикулярное к линии фронта. Показать, как их различие влияет на формирование вертикальных скоростей на поверхности раздела.

Выполнить требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 3.

Вариант 1. В тёплой воздушной массе, имеющей температуру 22°C и расположенной западнее меридионально-ориентированного фронта, ветер северо-западный, 8 м/с ; в холодной воздушной массе с температурой 12°C ветер юго-юго-западный. Определить скорость ветра в холодной массе, наклон поверхности раздела к плоскости горизонта, скорость перемещения фронта и вертикальную скорость на поверхности раздела в тёплой воздушной массе, если в холодной воздушной массе вертикальные токи отсутствуют. Широта места 60° .

Вариант 2. Высоты изобарических поверхностей возрастают при удалении от фронта в обоих направлениях. При этом расстояние между соседними изогипсами на карте AT_{850} в направлении, перпендикулярном линии фронта, в тёплой воздушной массе равно 3 см , а в холодной - 2 см . Масштаб карты $1:10^7$. Определить угол наклона фронтальной поверхности, разделяющей воздушные массы с разностью температур 12° , и вертикальную скорость подъема тёплой воздушной массы вдоль поверхности раздела, если фронт перемещается со скоростью 18 км/ч , а вертикальные движения в холодной воздушной массе отсутствуют. При проведении расчетов принять $T = 290\text{ К}$.

Вариант 3. Геострофический ветер в тёплой воздушной массе, имеющей температуру 15°C и расположенной к западу от меридионально-ориентированного фронта, северо-западный. При этом расстояние между соседними изобарами на карте с масштабом $1:10^7$ равно 2 см . Геострофический ветер в холодной воздушной массе, имеющий температуру 8°C , юго-западный. Определить наклон поверхности раздела, скорость передвижения фронта и разность вертикальных скоростей в

теплой и холодной воздушных массах. Широта места 60° .

Вариант 4. Скорость северо-западного геострофического ветра в теплой воздушной массе, расположенной западнее фронта, равна 8 м/с. В холодной воздушной массе ветер юго-юго-западный, 12 м/с. Тангенс угла наклона поверхности раздела к плоскости горизонта составляет 0,005. Определить разность температур в теплой и холодной воздушных массах, скорость и направление перемещения фронта, вертикальную скорость в теплой воздушной массе для широты 60° . При расчетах полагать, что вертикальные токи в холодной воздушной массе отсутствуют; $T = 285 \text{ K}$.

Тема 4. Инерционные планетарные волны Россби в атмосфере.

Контрольные вопросы

1. К каким упрощениям в уравнениях динамики атмосферы приводит условие малости волновых возмущений относительно параметров основного невозмущенного состояния?

2. Пояснить смысл параметра Россби и вывести формулу для расчёта его величины.

3. Как направлена фазовая скорость волн Россби относительно воздушной массы?

4. Каков смысл групповой скорости и как она направлена в системе волн Россби?

5. Какое условие выполняется для длины стационарных волн Россби?

6. Какие возможны варианты направлений фазовой скорости волн Россби по отношению к поверхности Земли в потоке с западно-восточным переносом, имеющем скорость \bar{u} ?

7. Каким соотношением должна быть связана длина стационарных волн Россби со скоростью западно-восточного атмосферного переноса и планетарным параметром Россби.

8. Как направление фазовой скорости волны Россби зависит от того, является ли фактическая длина волны больше или меньше значения длины стационарной волны?

Содержание работы

Изложение материала по волнам Россби должно содержать выводы линейной теории волн, относящиеся к дисперсионным соотношениям и их анализ. Такие соотношения отражают функциональные связи между параметрами волн и внешними факторами, участвующими в формировании этих волн.

Укажите, какие параметры волн характеризуют любой волновой процесс, и каковы функциональные связи между ними. Запишите общий функциональный вид волнового процесса.

Поясните, какие метеорологические параметры при волнах Россби претерпевают периодические изменения в пространстве и во времени. Отметьте порядки численных значений характерных масштабов пространственной и временной периодичности параметров в таком волновом процессе.

Запишите уравнения для изменений вихря и дивергенции, являющимися исходными уравнениями для вывода упомянутых выше дисперсионных соотношений. Поясните содержание величины, называемой планетарным параметром Россби. Запишите формулу для расчёта параметра Россби и проанализируйте его зависимость от географической широты.

Запишите формулы для частоты волнового процесса (σ) и для фазовой скорости C'_ϕ распространения волн по частицам самой воздушной массы. Как изменится формула для фазовой скорости относительно поверхности Земли C_ϕ с учётом среднего атмосферного переноса u в средних широтах.

Приведите детальный анализ фазовых скоростей от длины волны и скорости среднего атмосферного переноса.

Дайте смысл понятия «групповая скорость», запишите для неё формулу и укажите её направление.

Выведите формулу, выражающую скорость перемещения инерционных волн в градусах долготы за сутки через скорость основного потока в тех же единицах, длину волны в градусах долготы и широту места.

Копируя рисунок 7, нанесите на него: скорость среднего переноса u в соответствии с невозмущённым полем давления; изобары с волновым возмущением; фазовые скорости C'_ϕ и C_ϕ .

Аналогичные величины нанесите на рисунок, схематично

изображающий северное полушарие с полюсом в центре рисунка (смотри рисунок 8).

Выполните требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

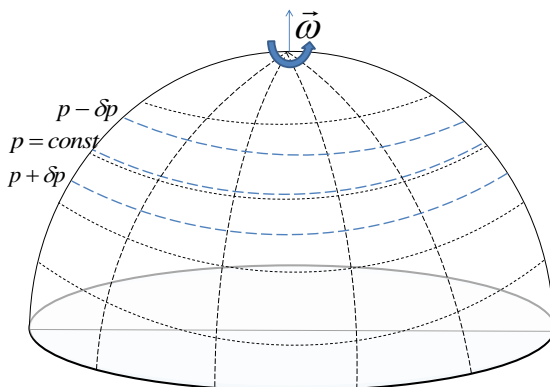


Рис. 7. Пример возможного рисунка с невозмущённым полем давления.

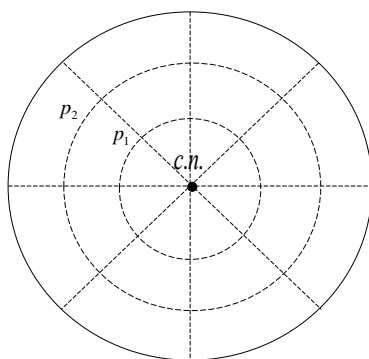


Рис.8. Схематичное изображение северного полушария с невозмущённым полем давления.

Задачи к теме 4.

Вариант 1. Найти скорость распространения инерционных волн длиной 28^0 на широте 40^0 в основном потоке, имеющем скорость $12^0/\text{сут}$. Чему равна групповая скорость и длина стационарной волны?

Вариант 2. Какова фазовая и групповая скорости инерционных волн на широте 45^0 в потоке, имеющем скорость 15^0 долготы за сутки, если длина волны равна 55^0 долготы? Определите длину стационарной волны.

Вариант 3. Определить фазовую и групповую скорости инерционных волн по отношению к поверхности Земли на широте 50^0 , если длина волны равна 35^0 долготы, а скорость основного потока составляет $15^0/\text{сут}$. Определить длину стационарной волны.

Вариант 4. Найти скорость распространения инерционных волн, длина которых равна 30^0 . Скорость основного переноса равна 20^0 долготы за сутки, широта 40^0 . Чему равна групповая скорость и длина стационарной волны?

Тема 5. Стационарный, горизонтально-однородный пограничный слой атмосферы. Интегральная модель описания его вертикальной структуры.

Контрольные вопросы

1. Что называется планетарным пограничным слоем атмосферы? В чём его принципиальное отличие от свободной атмосферы?

2. Каков диапазон изменений характерных численных значений толщины атмосферного пограничного слоя?

3. Какие характеристики потока связывает между собой линейной зависимостью коэффициент турбулентности?

4. Назовите характеристики турбулентности, входящие вместе с коэффициентом турбулентности в замкнутую систему уравнений для пограничного слоя.

5. Какой смысл содержится в понятии «интегральная» модель пограничного слоя?

6. Что такое «спираль Экмана-Аккерблома»?

7. Как отличается ветер в пределах пограничного слоя от вектора геострофического ветра?

8. От каких параметров зависит высота пограничного слоя согласно интегральной модели при нейтральной стратификации?

9. Как формулируется условие Экмана для определения высоты верхней границы пограничного слоя атмосферы?

Содержание работы

При изложении материала по этой теме дать определение области, называемой пограничным слоем атмосферы. Отметить особенности атмосферных процессов в пограничном слое атмосферы.

Приведите пояснения к силам, действующим в атмосфере при формировании горизонтального движения. Укажите физические факторы, определяющие формирование этих сил. Отметьте, какое содержание заключено в понятиях «планетарный пограничный слой» и «свободная атмосфера», и какие упрощения в уравнениях этому соответствуют.

Поясните различие между поверхностной силой трения, называемой касательным напряжением трения, и массовой силой трения. Сформулируйте гипотезу, согласно которой вводится понятие коэффициента турбулентности.

В одной из моделей пограничного слоя помимо коэффициента турбулентности вводятся следующие характеристики: кинетическая энергия турбулентных флуктуаций, скоростью её диссипации и турбулентный путь смешения. Дайте пояснения введённым характеристикам. Запишите гипотезы, устанавливающие связи между этими характеристиками и необходимые для замыкания системы уравнений, описывающих физические процессы в пограничном слое атмосферы.

Запишите замкнутую систему уравнений для пограничного слоя атмосферы. Объясните смысл слагаемых уравнения баланса энергии турбулентности.

Поясните смысл упрощений, которые используются в модели, характеризуемой как «интегральная модель пограничного слоя».

Запишите систему уравнений интегральной модели пограничного слоя для стационарных и горизонтально-однородных условий. Изложите порядок решения уравнений.

Представьте в работе задачу о распределении с высотой скорости ветра, включая постановку задачи, преобразование уравнений, граничные условия, общий вид решения и его подробный анализ.

На рисунке 9 схематично изображена качественная картина изменения ветра с высотой, соответствующая решению задачи Экмана.

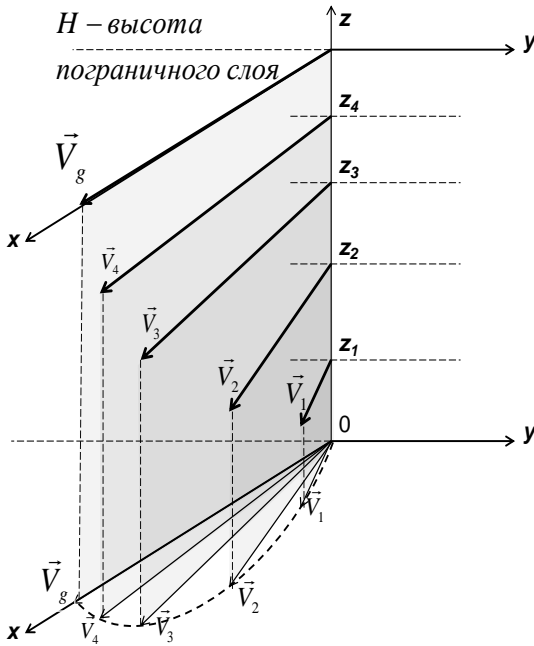


Рис.9. Картина качественного вида изменения ветра с высотой в пограничном слое атмосферы.

Изобразите характер изменения скорости ветра с высотой в виде годографа вектора скорости в проекции на

горизонтальную плоскость. Используйте при этом схему, предложенную на рисунке 10. Нанесите на этот рисунок действующие силы, по крайней мере, для двух высот.

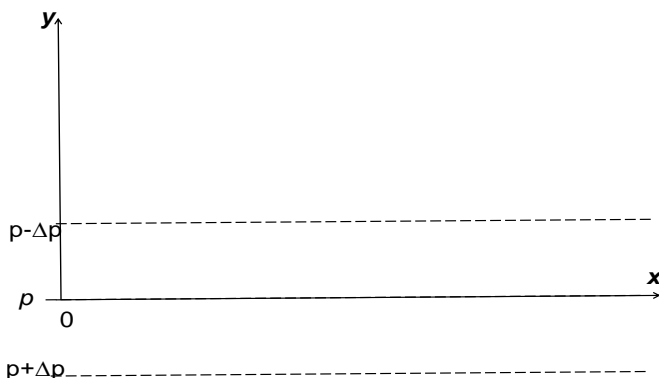


Рис.10. Пример рисунка в горизонтальной плоскости для построения годографа вектора скорости и нанесения векторов действующих сил.

Сформулируйте условие, предложенное Экманом для определения высоты верхней границы пограничного слоя. Приведите формулу для её расчёта.

Выполнить требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 5

Вариант 1. Определить скорость ветра и его отклонение от направления изобар в пограничном слое атмосферы на высотах 50 м, 200 м, 500 м и 800 м, если геострофический ветер не меняется по высоте и равен 8 м/с. Рассчитать силу турбулентного трения на этих же высотах, а также высоту пограничного слоя (уровень совпадения реального и геострофического ветра по направлению).

Расчеты произвести для широты 60° при неустойчивой стратификации, принимая $P_0 = 35 \text{ Вм} / \text{м}^2$. Плотность считать

равной $1,3 \text{ кг/м}^3$, среднее значение температуры $\bar{T} = 280 \text{ K}$. На основании расчетов построить годограф скорости ветра.

Вариант 2. На широте 55° скорость геострофического ветра 10 м/с , горизонтальный градиент давления в пределах пограничного слоя не меняется с высотой. Рассчитать значение среднего по высоте в пограничном слое коэффициента турбулентности и высоту пограничного слоя для неустойчивой стратификации, если $P_0 = 40 \text{ Вт/м}^2$ (использовать условие совпадения реального ветра с геострофическим по направлению на верхней границе пограничного слоя).

Для высот 100 м , 300 м , 600 м и 1000 м определить:

а) горизонтальные составляющие скорости ветра, модуль и направление ветра по отношению к направлению геострофического ветра;

б) горизонтальные составляющие силы Кориолиса и силы трения.

На основании расчетов построить годограф скорости. При расчетах принять $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$, $\bar{T} = 285 \text{ K}$.

Вариант 3. Скорость геострофического ветра на широте 65° в пределах пограничного слоя атмосферы не меняется с высотой и равна 11 м/с . Средний вертикальный градиент

температуры в пограничном слое равен $\frac{\partial \bar{T}}{\partial z} = -0,4 \text{ K/100 м}$.

Определить величину и направление (по отношению к направлению геострофического ветра) скорости ветра и силы турбулентного трения на высотах 150 м , 400 м и 800 м , высоту пограничного слоя (из условия $aH = \pi$), а также среднее по высоте значение коэффициента турбулентности. При расчетах принять $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$, $\bar{T} = 273 \text{ K}$.

Вариант 4. Горизонтальный градиент давления на широте 50° в пределах пограничного слоя атмосферы не меняется с высотой и составляет 2 гПа/100 км . При этом давление убывает с юга на север. Считая коэффициент турбулентности постоянным по высоте, определить величину и направление скорости ветра и силы турбулентного трения на высотах 100 ,

500 и 1000 м. Рассчитать высоту пограничного слоя и значение среднего по высоте коэффициента турбулентности. Расчеты произвести для условий стратификации, характеризуемых значением среднего вертикального градиента температуры $\frac{\partial T}{\partial z} = -0,5K/100м$. Принять $\rho = 1,3кг / м^3$, $\bar{T} = 280K$.

Тема 6. Стационарный, горизонтально-однородный приземный слой. Модель, основанная на теории подобия (модель Монина-Обухова).

Контрольные вопросы

1. По какому условию ограничивается толщина слоя воздуха у подстилающей поверхности, называемого приземным слоем атмосферы?

2. Какими основными свойствами обладает приземный слой атмосферы?

3. Какая характеристика теплообмена отвечает за качественный тип стратификации (условий устойчивости)?

4. Назовите соответствие знака турбулентного потока тепла и характера устойчивости в приземном слое.

5. Какой безразмерный параметр отражает соотношение динамического и термического факторов, отвечающих за интенсивность турбулентного обмена в приземном слое атмосферы?

6. По какому условию выделяется стратификация, характеризуемая как стратификация, близкая к нейтральной?

7. Как изменяется с высотой коэффициент турбулентности в приземном слое атмосферы при нейтральной стратификации?

8. При какой стратификации вертикальные профили скорости ветра и удельной влажности водяного пара характеризуются логарифмической зависимостью?

Содержание работы

Нижняя часть пограничного слоя атмосферы вблизи подстилающей поверхности представляет особый интерес при

изучении метеорологических процессов. Именно в этой области протекают процессы, в результате которых формируются условия для обмена количеством тепла и влаги атмосферы с подстилающей поверхностью.

Упрощения уравнений, которые допустимы в приземном слое, позволяют получить явные функциональные связи между искомыми величинами и определяющими параметрами (данными наблюдений), имеющие наглядный, удобный для анализа и расчёта вид.

Выполнить вывод уравнений для стационарного, горизонтально-однородного приземного слоя. Сформулировать основное условие, которое должно выполняться в пределах приемного слоя. Записать соотношение, позволяющее сделать оценку толщины приземного слоя.

Используя П-теорему анализа размерностей получить общий вид зависимости коэффициента турбулентности от определяющих параметров. Записать частные явные виды этой зависимости при различных условиях стратификации (нейтральной, близкой к нейтральной, сильной устойчивости, свободной конвекции).

Для различных условий стратификации вывести формулы для вертикальных профилей различных метеовеличин. Выполнить анализ этих зависимостей.

Дать определение величине, называемой параметром шероховатости. Пояснить практическую процедуру определения численных значений этой величины, используя рисунок, аналогичный рисунку 11.

Изложить процедуру расчёта значений масштаба длины Монина-Обухова, касательного напряжения на подстилающей поверхности и турбулентных потоков тепла и водяного пара, используя данные градиентных метеорологических наблюдений в приземном слое.

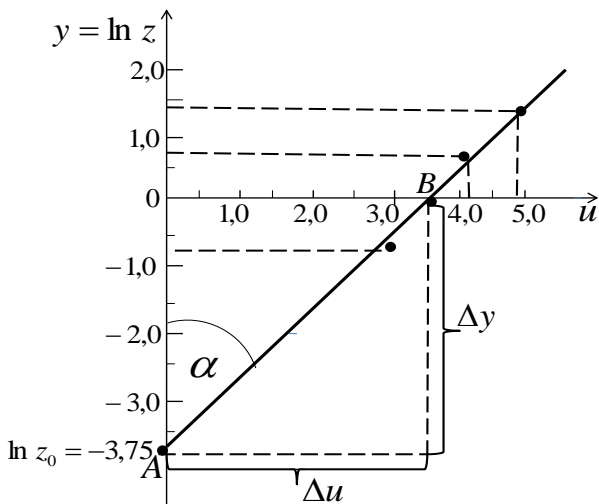


Рис.11. Пример рисунка для определения конкретной величины параметра шероховатости.

Выполните требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 6

Вариант 1. Рассчитать напряжение турбулентного трения, турбулентные потоки тепла и влаги в приземном слое, а также значение коэффициента турбулентности на высоте 10 м, используя следующие данные градиентных измерений (таб.1):

Таблица №1.

z	м	1,0	5,0
u	м/с	4,5	5,8
t	°С	18,0	17,5
q	‰	8,2	7,6

При расчетах принять $\beta = 2,0$; $\rho = 1,3 \text{ кг} / \text{м}^3$; $\bar{T} = 290 \text{ К}$.

Вариант 2. Определить скорость испарения в приземном слое, значения скорости ветра, температуры, массовой доли водяного пара, а также значение коэффициента турбулентности на высоте 10 м, используя следующие данные градиентных измерений (таб.2):

Таблица №2.

z	м	1,0	4,0
u	м/с	6,5	7,5
t	°С	22,0	21,4
q	‰	12,0	10,4

Вариант 3. Определить шероховатость подстилающей поверхности, динамическую скорость и турбулентный поток влаги в приземном слое, используя следующие данные градиентных наблюдений (таб.3):

Таблица №3.

z	м	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0
u	м/с	3,5	4,2	4,5	5,4	5,9
q	‰	14,1	13,6	13,1	12,4	11,8

Плотность воздуха принять равной $1,3 \text{ кг/м}^3$. Применить графический метод решения.

Вариант 4. Определить шероховатость подстилающей поверхности, коэффициент турбулентности на высоте 10 м, напряжение турбулентного трения и скорость испарения в приземном слое, используя данные градиентных наблюдений (таб.4):

Таблица №4.

z	м	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
u	м/с	2,2	2,6	2,8	3,3	3,6
q	‰	18,0	17,2	16,6	15,7	15,0

Плотность воздуха принять равной $1,3\text{кг/м}^3$. Применить графический способ решения.

Тема 7. Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы. Суточный ход температуры воздуха. Ночное понижение температуры поверхности почвы.

Контрольные вопросы

1. Чем компенсируется суммарный поток радиации на подстилающей поверхности?
2. Опишите процесс формирования суточных колебаний метеоэлементов вблизи подстилающей поверхности.
4. Каковы механизмы передачи суточных изменений температуры подстилающей поверхности в атмосферу и в почву?
5. Чем ограничивается высота распространения суточных колебаний температуры в атмосфере?
6. Как соотносятся между собой моменты наступления максимальных численных значений радиационного баланса и температуры на подстилающей поверхности?
7. Где в процессе суточных колебаний раньше наблюдается максимальная температура, на подстилающей поверхности или на высоте 100 метров?
8. Как с высотой меняется амплитуда суточных колебаний температуры воздуха?
9. Как влияют на суточные колебания температуры физические свойства среды, над которой формируется воздушный поток?
10. Какие процессы определяют ночное понижение температуры подстилающей поверхности?

11. При каких условиях в атмосфере выхолаживание поверхности будет максимальным?

Содержание работы

Назовите причины локальных временных изменений метеорологических параметров в пограничном слое атмосферы. Какова причина их суточных периодических изменений?

Приведите качественное описание изменений физических величин, участвующих в процессе, с учётом их взаимосвязей в течение всего периода суточных колебаний. Отметьте, чем ограничивается верхний уровень развития процесса суточного хода температуры. Запишите систему уравнений, отражающих временные изменения этих величин.

Изложите постановку задачи суточного хода температуры воздуха в пограничном слое атмосферы с упрощениями, касающимися динамических характеристик процесса и суточного хода радиационного баланса подстилающей поверхности.

Сделайте необходимые преобразования уравнений, изложите ход их решения, и запишите конечную формулу для суточного хода отклонений температуры от её среднесуточного значения.

Выполните подробный анализ зависимости параметров суточного хода температуры от высоты и от физических свойств атмосферы и подстилающей поверхности. Отметьте, как соотносятся фазы суточных колебаний турбулентного потока тепла и температуры поверхности с фазой колебаний радиационного баланса. Обратите внимание на зависимость от высоты фазы суточных колебаний температуры.

Изложите задачу о ночном понижении температуры подстилающей поверхности.

Выполните требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Изобразите на графиках суточный ход характеристик процесса:

- а) радиационного баланса;
- б) отклонений температуры от её среднесуточного значения

на подстилающей поверхности;

в) отклонений температуры от её среднесуточного значения на заданных в условии задачи двух высотах.

1. По данным табл.5, соответствующим Вашему варианту, рассчитать и построить:

а) суточный ход температуры воздуха на двух высотах;

б) суточный ход турбулентного потока тепла у поверхности.

2. Определить:

а) время наступления максимального значения температуры и турбулентного потока тепла;

б) высоту теплового пограничного слоя, приняв, что на этой высоте амплитуда колебаний температуры в 20 раз меньше амплитуды колебаний на поверхности ($n=20$).

Таблица №5.

№ варианта	A_R (Вт / м ²)	P_0 (Вт / м ²)	k (м ² / с)	Состояние почвы	r_0 (%)	z (м)	\bar{T} (°C)
1	400	300	6	Слабо увлажнена	30	10 300	25 20
2	250	180	4	Хорошо увлажнена	60	20 200	18 16
3	200	130	2	Сухая	20	2 150	15 13
4	450	350	10	Сильно увлажнена	80	5 150	30 25

3. Проанализировать полученные результаты.

Расчеты суточного хода выполнять с интервалом времени в 2 часа. При построении графиков откладывать астрономическое

время.

Тема 8. Влияние бароклинических условий в атмосфере на формирование циркуляции скорости по жидкому замкнутому контуру.

Контрольные вопросы

1. В чём различие баротропного и бароклинического состояний атмосферы?
2. Как выглядит взаимное расположение изобарических и изотермических поверхностей (или изобар и изотерм на синоптических картах) в атмосфере при баротропных и бароклинических условиях?
3. В чём смысл понятия «жидкий» замкнутый контур?
4. Какая сила совершает работу, которая может привести к развитию циркуляции по жидкому замкнутому контуру?
5. Назовите атмосферные процессы, обусловленные бароклиническими условиями. Объясните причины таких процессов.
6. Как направление развития бароклинической циркуляции по жидкому замкнутому контуру в горизонтальной или в вертикальной плоскости связано с взаимной ориентацией изобар и изотерм?
7. Как направлен ветер в приземном (приводном) слое атмосферы при дневном и ночном бризе?
8. Какие физические факторы ответственны за формирование бризовой циркуляции и за вертикальную толщину её развития?

Содержание работы

Изложите содержание понятия «циркуляция по замкнутому контуру» и поясните, чем «жидкий контур» отличается от фиксированного контура.

Сформулируйте теорему Томсона об изменении циркуляции по замкнутому жидкому контуру. Выполните последующие преобразования, используя уравнение движения для частиц воздуха в векторной форме.

Данная тема предполагает детальный анализ изменения

циркуляции за счёт фактора, связанного с работой силы барического градиента вдоль замкнутого контура.

Прежде всего, необходимо изложить физическое содержание понятий бароклинного и баротропного состояний атмосферы. Какова взаимная ориентация в пространстве изобарических и изотермических поверхностей, а также изобар и изотерм на горизонтальной плоскости, для различных состояний воздуха?

Выполните рисунок, аналогичный рисунку 12, и нанесите на него изотермы для баротропной и бароклинной ситуаций.

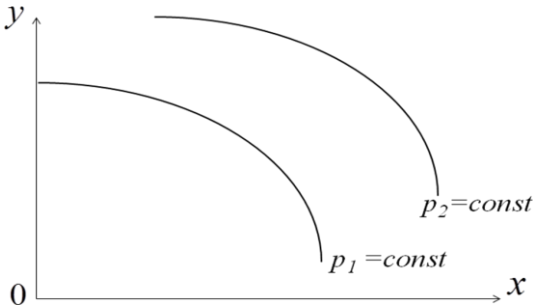


Рис. 12. Пример поля изобар для последующей иллюстрации баротропной и бароклинной ситуаций.

Сделайте вывод формулы для изменения циркуляции в бароклинной области по жидкому замкнутому контуру, состоящему из двух изобар и двух изотерм. Проанализируйте связь направления изменения циркуляции с углом между направлениями градиента давления и температуры и выполните соответствующие рисунки.

Используйте полученные выводы для анализа бризовой, горно-долинной и муссонной циркуляций. Для анализа бризовой циркуляции используйте схему, приведённую на рисунке 13, нанесите изотермы и направление циркуляции.

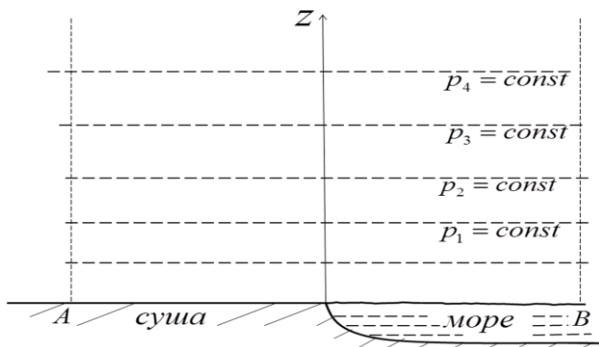


Рис. 13. Схема невозмущённого поля давления для анализа бризовой циркуляции.

Поясните процесс формирования горно-долинных ветров, схема которого приведена на рисунке 14.

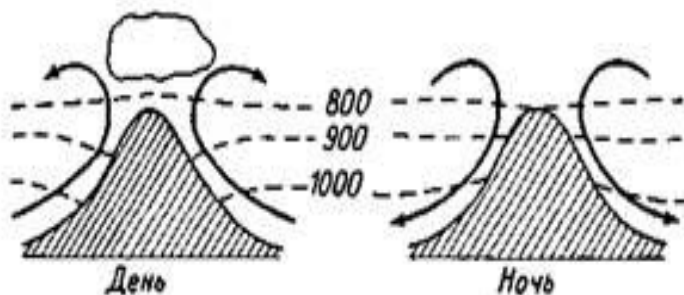


Рис. 14. Схема горно-долинных ветров.

Выполните требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 8.

Вариант 1. Определить среднюю скорость бризовой циркуляции по замкнутому контуру через 2 часа 30 минут после её возникновения, если циркуляция распространилась на слой от $p_1=1005$ гПа до $p_2=980$ гПа по вертикали и на расстояние 50 км по горизонтали. Средний горизонтальный градиент температуры

равен $1^{\circ}\text{C}/10\text{ км}$.

Вариант 2. Определить, когда бризовая циркуляция в слое между $p_1=1000\text{ гПа}$ и $p_2=980\text{ гПа}$ изменит направление, если в 23 часа средняя скорость бриза была направлена с моря на сушу (в его нижней части) и равна 3 м/с , а разность температур воздуха над морем и над сушей в точках на расстоянии по 20 км в обе стороны от береговой линии равна 5°C .

Вариант 3. Определить среднюю скорость ветра вдоль замкнутого контура в случае бризовой циркуляции через $1\text{ час } 30\text{ минут}$ после появления разности температур в 7°C на горизонтальных границах области циркуляции, охватывающей район по 20 км вглубь моря и суши от береговой линии. По вертикали циркуляция захватывает слой с давлением 995 гПа у земли и на высоте 250 м с давлением 975 гПа .

Вариант 4. Определить горизонтальную протяжённость района, охватываемого бризовой циркуляцией, если по вертикали она ограничена слоем с давлением $p_1=990\text{ гПа}$ у подстилающей поверхности и давлением $p_2=960\text{ гПа}$, а средняя скорость по контуру через $2\text{ часа } 30\text{ минут}$ после возникновения разности температур в 6°C составила величину 8 м/с .

Тема 9. Влияние вращения Земли на изменение циркуляции скорости по замкнутому жидкому контуру.

Контрольные вопросы

1. Приведите примеры метеорологических систем с циркуляцией в горизонтальной плоскости.
2. В чём отличие контура, называемого «жидким», от простого контура.
3. Какие изменения происходят с жидким замкнутым контуром в горизонтальной плоскости вокруг центра пониженного давления в нижней части атмосферы?
4. Как будет изменяться площадь, охватываемая жидким контуром, при положительной плоской дивергенции скорости ветра внутри контура?
5. В каком направлении (по часовой стрелке или против часовой стрелке) будет развиваться циркуляция по замкнутому

жидкому контуру в области с пониженным давлением в северном полушарии?

6. Как изменится проекция на плоскость экватора площади, охватываемой жидким контуром, при его перемещении по поверхности Земли от высоких широт к низким?

7. Как будет меняться циклоническая циркуляция по жидкому замкнутому контуру в воздушной массе, перемещающейся в северном полушарии от высоких широт к низким?

8. В чём отличие динамики циркуляционных процессов, связанных с влиянием вращения Земли, в северном и южном полушариях?

Содержание работы

Изложите содержание понятия «циркуляция по замкнутому контуру» и поясните, чем «жидкий контур» отличается от фиксированного контура.

Сформулируйте теорему Томсона об изменении циркуляции по замкнутому жидкому контуру. Выполните последующие преобразования, используя уравнение движения для частиц воздуха в векторной форме.

Данная тема предполагает детальный анализ изменения циркуляции за счёт фактора, связанного с работой силы Кориолиса вдоль замкнутого контура.

Выполнить вывод окончательной формулы для расчёта изменения циркуляции по жидкому замкнутому контуру, обусловленного влиянием вращения Земли. Выразить связь между площадью S , охватываемой контуром, и её проекцией S_0 на плоскость экватора от широты места φ . Выводы дополнить пояснениями на рисунке.

Применить выводы, вытекающие из полученной формулы, для анализа изменения циркуляции по замкнутому жидкому контуру в двух следующих ситуациях.

а) В воздушной массе, перемещающейся без изменения широты места, возможно изменение площади, охватываемой контуром, за счёт плоской дивергенции. При анализе такой ситуации целесообразно использовать связь между скоростью

изменения площади $\frac{dS}{dt}$, охватываемой контуром, и плоской

дивергенцией $D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$, а именно:

$$\frac{1}{S} \frac{dS}{dt} = D.$$

б) Воздушная масса перемещается с изменением широты места, но без изменения площади, охватываемой контуром.

Отобразите оба случая на рисунках, используя в качестве примера рисунок 15. На нём изображено положение воздушной массы с окружающим её контуром и площадью S внутри него в начальный момент времени.

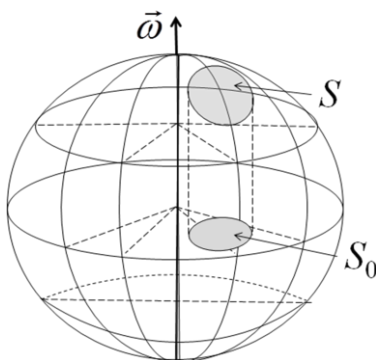


Рис. 15. Положение воздушной массы с площадью S в начальный момент времени.

Выполните требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 9.

Вариант 1. Воздушная масса перемещается вдоль широтного круга на широте $\varphi=58^\circ$. Под влиянием пониженного давления в центре области наблюдается сходимость воздушного потока со средней величиной плоской дивергенции, равной

$D = -0,25 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Определить среднюю величину скорости циркуляции через 12 часов после начала её развития по контуру радиуса $R=500\text{км}$.

Вариант 2. Воздушная масса в северном полушарии сместилась в течение суток с широты 60^0 на широту 55^0 . Оценить среднюю скорость циркуляции по жидкому замкнутому контуру с радиусом $R=500\text{км}$ за это время, если площадь, охватываемая контуром, при этом не изменилась.

Вариант 3. При движении воздушной массы с повышенным давлением в её центральной области вдоль широтного круга $\varphi=50^0$ наблюдается расходимость воздушного потока с положительной плоской дивергенцией, равной $D = 0,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Определить среднюю величину скорости циркуляции через 16 часов после начала её развития по контуру радиуса $R=400\text{км}$.

Вариант 4. Оценить среднюю скорость циркуляции по жидкому замкнутому контуру с радиусом $R=500\text{км}$, окружающему воздушную массу, переместившуюся за 24 часа с широты $\varphi=50^0$ на широту $\varphi=55^0$. Площадь, охватываемая контуром, при этом не изменилась.

Тема 10. Трансформация свойств воздушного потока при его перемещении на подстилающую поверхность с изменившимися свойствами.

Контрольные вопросы

1. Какой физический процесс в метеорологии отражается в понятии «трансформация» в пограничном слое атмосферы?
2. Какие слагаемые в уравнениях притоков тепла или влаги обязательно должны быть учтены при решении задачи о трансформации температуры и массовой доли водяного пара?
3. Какие процессы участвуют в установлении баланса притоков тепла или влаги в воздушных частицах при стационарных условиях трансформации?
4. Что такое внутренний слой трансформации?
5. Чем ограничивается высота слоя трансформации полей температуры или влажности воздуха при переходе его с одной

подстилающей поверхности на поверхность с другими свойствами?

6. Как меняются дополнительные турбулентные потоки тепла и влаги над новой подстилающей поверхностью при удалении от её границы со старой поверхностью?

7. При каком направлении ветра по отношению к сторонам прямоугольного бассейна или орошаемого участка земли суммарное испарение с его поверхности будет максимальным?

8. Приведите примеры образования туманов, обусловленных процессом трансформации, и дайте объяснение этим явлениям.

Содержание работы

В курсовой работе по данной теме должно быть изложено физическое описание, математическая формулировка и решение одной из задач общего раздела динамической метеорологии, посвящённого изучению горизонтально неоднородных процессов в атмосфере.

Дайте описание процесса, характеризуемого как трансформация воздушного потока в пограничном слое атмосферы. Укажите, между какими двумя процессами устанавливается баланс при стационарных условиях.

Приведите конкретные примеры таких процессов, их детальное описание. Изложите те следствия, которые представляют интерес как для метеорологических прогнозов, так и для производственной или сельскохозяйственной деятельности.

Сформулируйте математическую постановку задачи о трансформации полей температуры и влажности, когда воздушная масса перемещается с одной подстилающей поверхности на другую, с резко изменившимися на ней значениями метеорологических параметров.

Выполните поясняющий рисунок, используя в качестве примера схему, изображённую на рисунке 1б.

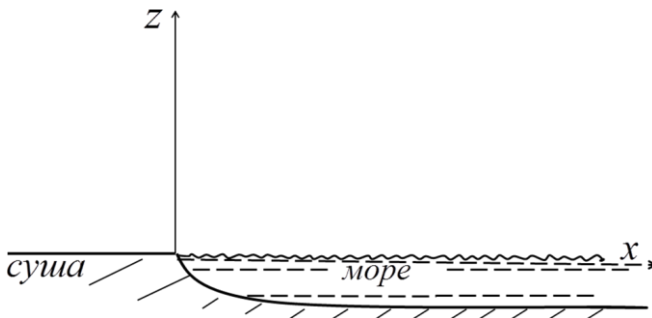


Рис.16. Схема для нанесения на неё всех необходимых характеристик, участвующих в задаче о трансформации температуры и влажности.

Укажите упрощения, при которых решается задача и необходимые граничные условия. Отметьте, чем ограничивается верхний уровень развития процесса трансформации. Изложите последовательность математических преобразований в ходе решения уравнения и его конечный результат.

Поясните, как можно получить выражение для определения турбулентных потоков количества тепла и водяного пара с подстилающей поверхности. Выполните анализ зависимости этих характеристик от определяющих параметров процесса.

Выполните требуемые в задании расчёты, используя данные предложенного варианта задачи.

Задачи к теме 10.

Вариант 1. Будет ли образовываться туман в воздухе на уровне 6 м после того, как он пройдет 20 км над морем, если распределение его температуры и влажности над сушей описывалось соответственно:

$$T_1(z) = +9^\circ\text{C} - 0,1z^{0,14}$$

$$q_1(z) = 3,1\% - 0,2z^{0,14},$$

а температура поверхности моря -2°C . Коэффициент турбулентности и скорость ветра на высоте 1 м соответственно равны $0,1\text{ м}^2/\text{с}$ и $10\text{ м}/\text{с}$.

Определить толщину трансформированного слоя на этом расстоянии, приняв за его верхнюю границу уровень, на котором

$$\frac{T(z) - T_1(z)}{T_0 - T_1(0)} = 0,05$$

Вариант 2. Определить турбулентный поток тепла на расстоянии 5 км от берега над водной поверхностью с температурой 15°C, если температура воздушной массы над сушей 5°C, коэффициент турбулентности и скорость ветра на высоте 1 м равны соответственно 0,5 м²/с и 5 м/с. Термическая стратификация неустойчивая. Ветер дует с суши на море. Как изменится результат при устойчивой стратификации?

Вариант 3. Как изменится относительная влажность на высоте 2 м в воздушной массе после того, как она пройдет 15 км над морем, если над сушей в ней имело место следующее распределение температуры и влажности:

$$T_1(z) = +10^\circ\text{C} - 0,2z^{0,14}; \quad q_1(z) = 4,8\% - 0,6z^{0,14}.$$

Температура поверхности моря 20°C, $k_1 = 0,8 \text{ м}^2/\text{с}$, $u_1 = 5 \text{ м}/\text{с}$.

Что такое внутренний пограничный слой? От чего зависит его толщина? Оценить ее по условиям задачи, приняв, что на его верхней границе

$$\frac{T(z) - T_1(z)}{T_0 - T_1(0)} = 0,1$$

Вариант 4. Рассчитать скорость испарения с водоема, температура поверхности которого 10°C, на расстоянии 10 км от берега, если на него поступает воздух с суши, имеющий температуру 0°C. Коэффициент турбулентности и скорость ветра на высоте 1 м равны соответственно 0,8 м²/с и 8 м/с. Термическая стратификация равновесная. Влажность воздуха над сушей составляла 60%. Как изменится и чему будет равна скорость испарения на расстоянии 20 км от берега? Объясните причину этого изменения.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания	3
Литература	4
Примерный перечень курсовых работ	5
Общие замечания	6
Тема 1. Движение в свободной атмосфере: установившееся равномерное движение в поле прямолинейных, параллельных изобар; равномерное установившееся движение в поле криволинейных изобар; инерционные движения; циклострофические движения.	7
Тема 2. Изменение горизонтального барического градиента и геострофического ветра с высотой (термический ветер). Геострофическая адвекция температуры.	12
Тема 3. Поверхности раздела в атмосфере	15
Тема 4. Инерционные планетарные волны Россби в атмосфере.	19
Тема 5. Стационарный, горизонтально-однородный пограничный слой атмосферы. Интегральная модель.	22
Тема 6. Стационарный, горизонтально-однородный приземный слой. Модель, основанная на теории подобия (модель Монина-Обухова)	27
Тема 7. Нестационарные процессы в пограничном слое атмосферы. Суточный ход температуры воздуха. Ночное понижение температуры поверхности почвы	31
Тема 8. Влияние бароклинных условий в атмосфере на формирование циркуляции скорости по жидкому замкнутому контуру	34
Тема 9. Влияние вращения Земли на изменение циркуляции скорости по замкнутому жидкому контуру	37
Тема 10. Трансформация свойств воздушного потока при его перемещении на подстилающую поверхность с изменившимися свойствами	40

Учебное издание

Составители:

Кирилл Леонидович Егоров, кандидат физ-мат наук, доцент,
Надежда Сергеевна Ерёмкина, старший преподаватель

Методические указания к выполнению курсовой работы по
дисциплине «Динамическая метеорология»